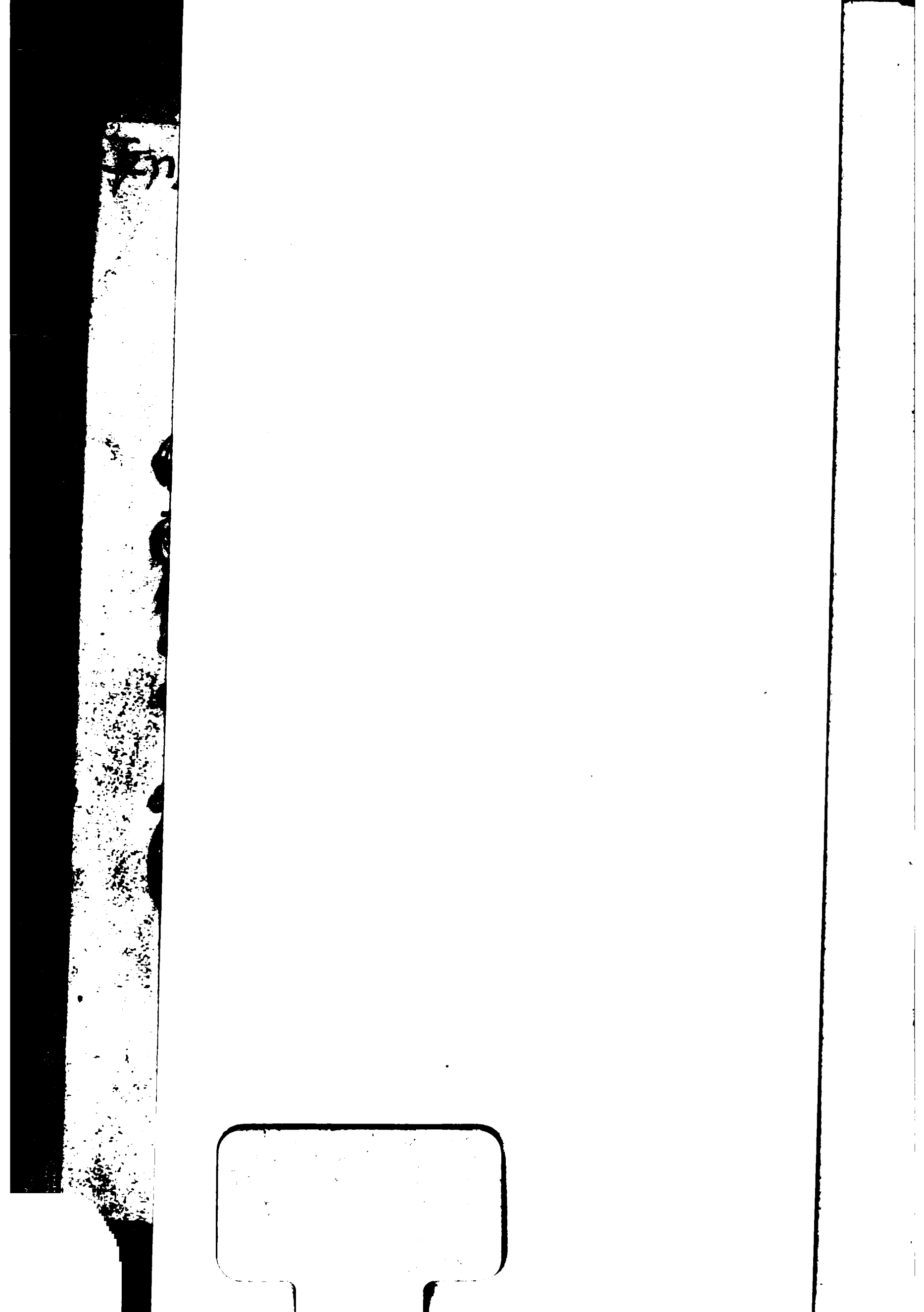
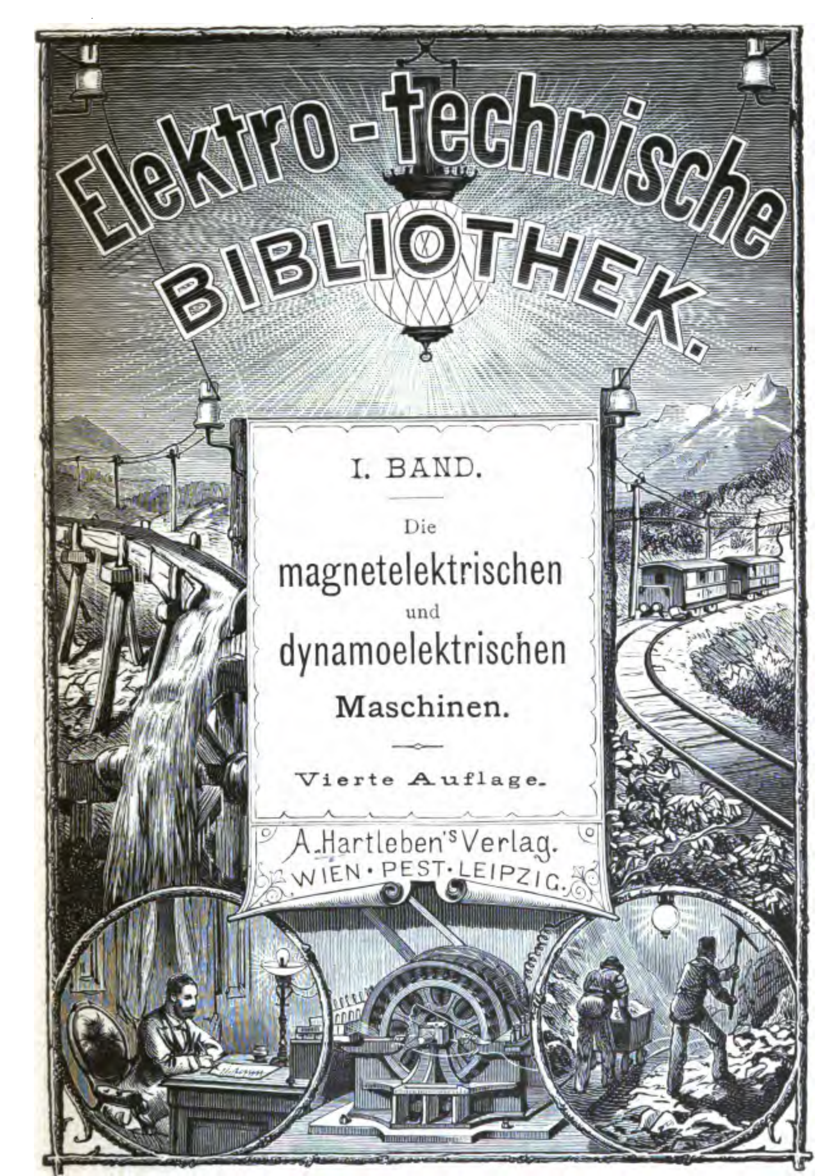





Elektro-technische
BIBLIOTHEK.
I. BAND.
Die
magnetelektrischen
und
dynamoelektrischen
Maschinen.
Vierte Auflage.
A. Hartleben's Verlag.
WIEN · PEST · LEIPZIG.

# A. Hartleben's Elektro-technische Bibliothek.

In reich illustr. Bänden, geh. à 1 fl. 65 kr. = ö. W. = 3 Mark = 4 Fr. = 1 R. 80 Kop. Elegant gebunden à 2 fl. 20 kr. ö. W. = 4 Mark = 5 Fr. 35 Cts. = 2 R. 40 Kop.

---

I. Band. Die magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen und die sogenannten Secundär-Batterien, mit besonderer Rücksicht auf ihre Construction. 3. Aufl. Von G. Glaser-De Cew.

II. Band. Die elektrische Kraftübertragung und ihre Anwendung in der Praxis, mit besonderer Rücksicht auf die Fortleitung und Vertheilung des elektrischen Stromes. 2. Aufl. Von Ed. Japing.

III. Band. Das elektrische Licht. 2. Aufl. Von Dr. A. v. Urbanitzky.

IV. Band. Die galvanischen Batterien, Accumulatoren und Thermosäulen, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. 2. Aufl. Von W. Ph. Hauck.

V. Band. Die Verkehrs-Telegraphie, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von J. Sack.

VI. Band. Telephon, Mikrophon und Radiophon, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendung in der Praxis. Von Theodor Schwartze.

VII. Band. Die Elektrolyse, Galvanoplastik und Reinmetall-Gewinnung, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von Eduard Japing.

VIII. Band. Die elektrischen Mess- und Präcisions-Instrumente, sowie die Instrumente zum Studium der statischen Elektricität, mit besonderer Rücksicht auf ihre Construction. Ein Leitfaden der elektrischen Messkunde. Von A. Wilke.

IX. Band. Die Grundlehren der Elektricität, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von W. Ph. Hauck.

X. Band. Elektrisches Formelbuch mit einem Anhange, enthaltend die elektrische Terminologie in deutscher, französischer und englischer Sprache. Von Prof. Dr. P. Zech.

XI. Band. Die elektrischen Beleuchtungs-Anlagen, mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Ausführung. 2. Aufl. Von Dr. A. von Urbanitzky.

XII. Band. Die elektrischen Einrichtungen der Eisenbahnen und das Signalwesen. Von L. Kohlfürst.

XIII. Band. Elektrische Uhren und Feuerwehr-Telegraphie. Von Prof. Dr. A. Tobler.

XIV. Band. Haus- und Hôtel-Telegraphie. Von O. Canter.

XV. Band. Die Anwendung der Elektricität für militärische Zwecke. Von Dr. Fr. Waechter.

XVI. Band. Die elektrischen Leitungen und ihre Anlage für alle Zwecke der Praxis. Von J. Zacharias.

XVII. Band. Die elektrische Eisenbahn bezüglich ihres Baues und Betriebes. Von Josef Krämer.

XVIII. Band. Die Elektrotechnik in der Heilkunde. Von Prof. Dr. Rud. Lewandowski.

XIX. Band. Die Spannungs-Elektricität und ihre technischen Anwendungen. Von Prof. K. W. Zenger.

XX. Band. Die Weltliteratur der elektrotechnischen Wissenschaft 1860—1883. Von Gustav May. — u. s. w., u. s. w.

*Jeder Band ist für sich vollkommen abgeschlossen und einzeln käuflich.*

Auch in Lieferungen à 30 Kr. = 60 Pf. = 80 Cts. = 36 Kop. zu beziehen.

**A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.**

# Die magnetelektrischen und dynamoelektrischen MASCHINEN und die sogenannten Secundär-Batterien.

Mit besonderer Rücksicht auf ihre Construction

dargestellt von

**Gustav Glaser-De Cew.**

---

*Mit 56 Abbildungen.*

---

**Vierte Auflage.**



WIEN. PEST. LEIPZIG.

A. HARTLEBEN'S VERLAG.

1884.

---

Druck von Friedrich Jasper in Wien.

# Vorwort.

---

Seit der ersten Anwendung der magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen in der Praxis sind nur wenige Jahre verflossen und die Anzahl der in Bezug auf diese Motoren gesammelten Erfahrungen ist daher noch eine verhältnissmässig geringe, nichts destoweniger beginnt man einzusehen, dass die bisher construirten Maschinen noch ausserordentlicher Verbesserungen fähig sind, und dass man durch eine rationelle Construction denselben einen Werth zu verleihen im Stande sein wird, welcher ihre Verwendung in der ausgedehntesten Weise möglich zu machen verspricht, so dass sie mit der Zeit dieselbe Stellung einnehmen werden, welche gegenwärtig die Dampfmotoren haben.

Die meisten der bisher angefertigten elektrischen Maschinen wurden weniger mit Rücksicht auf eine billige Krafterzeugung construirt, als um einen recht in die Augen fallenden Effect hervorzubringen, und für eine Zeit lang war es allerdings möglich, die Augen des Publikums durch diesen Effect so zu blenden, dass es die Frage nach den Kosten über den durch die elektrischen Maschinen erzeugten Wundern vergass.

Gegenwärtig jedoch sind die Gemüther nüchterner geworden und nun, da die Constructeure ihre Maschinen durch Einführung in den allgemeinen Gebrauch verwerthen wollen und nicht mehr damit zufrieden sind, durch die Leistungen derselben das Publikum, welches populärwissenschaftliche Vorlesungen besucht, zu ergötzen, stellt man an sie die Frage nach dem Preise der elektrischen Stromerzeugung. Die Zeit ist also gekommen, wo alle Reclamen und Ausflüchte nichts mehr helfen; denn der wahre Werth der elektrischen Maschinen stellt sich heraus, sobald sie in der Industrie ihre Concurrenz mit anderen Maschinen beginnen.

Während bisher demnach viele Constructeure es noch für vortheilhaft hielten, vergleichende Messungen an ihren Maschinen zu verhindern, und es versuchten, das Publikum im Unklaren über die Schwächen derselben zu halten, sieht man heutzutage ein, dass das einzige Mittel zum Erfolge ist, diese Schwächen zu beseitigen.

Die Constructeure beginnen daher sich eingehend mit der Frage zu beschäftigen, von welchen Bedingungen die Verbesserung und die Leistungsfähigkeit der elektrischen Maschinen abhängt.

Diese Frage soweit zu beantworten, als es die bisher gemachten Erfahrungen und der gegenwärtige Stand der Wissenschaft erlauben, soll die Aufgabe der folgenden Abhandlung sein, und hat sich der Verfasser bemüht, in derselben alle Punkte zu berücksichtigen, welche für den Constructeur elektrischer Maschinen in seinem Berufe von Bedeutung sein können.

Zu diesem Zwecke wird in der historischen Einleitung gezeigt, auf welche Weise sich die Ideen entwickelten, die zu der Construction der heutigen Elektromotoren führten, alsdann wird in den beiden ersten Capiteln eine kurzgefasste Uebersicht dessen gegeben, was bisher auf dem Gebiete der Construction elektrischer Maschinen geleistet worden ist, im dritten Capitel werden die Vorzüge und Schwächen erwähnt, die man bei den verschiedenen Classen von Motoren bis jetzt entdeckt hat, und im fünften und sechsten Capitel sind die theoretischen Gesetze entwickelt, von deren Berücksichtigung eine rationelle Verbesserung der Construction der elektrischen Maschinen abhängt.

Das Auffinden einer guten Construction für elektrische Maschinen auf rein empirischem Wege ist gerade bei diesen Apparaten weit weniger möglich, als bei irgend einem andern Motor, da die Factoren für die Güte dieser Maschinen so mannigfaltig sind und so zahlreiche Combinationen bieten, dass unter vielen Tausenden von ohne theoretische Vorkenntnisse gemachten Experimenten kaum eines wirklich praktischen Erfolg zu haben verspricht; es wird daher von Fachleuten wohl gebilligt werden, dass der Theorie in diesem kleinen Handbuche ein ziemlich beträchtlicher Raum gewidmet ist. Ebenso wurde es für gut gehalten, eine verhältnissmässig grosse Anzahl von experimentellen Daten aufzunehmen, da diese Daten, wenn auch nur wenige derselben absolut zuverlässig sind, eine wichtige Basis für die Beurtheilung des Werthes der einzelnen Maschinen bieten, und gleichfalls aus praktischen Rücksichten wurde in Capitel IV eine Beschreibung der als

Hilfsapparate für die Maschinen so wichtigen Secundär-Batterien und im Anhange ein Hinweis auf einige der brauchbarsten Messinstrumente für Maschinen gegeben.

Sollte es in dem Folgenden gelungen sein, die richtige Auswahl des für den praktischen Gebrauch wichtigen Materials getroffen zu haben, und sollten die in der Abhandlung gegebenen Auseinandersetzungen sich für den Fachmann nützlich erweisen, so ist der Wunsch des Verfassers erfüllt; doch ist sich der letztere wohl bewusst, dass seinem Buche noch manche Mängel anhaften, wie solche bei einem Buche über einen verhältnissmässig neuen Gegenstand nur schwer zu vermeiden sind, und rechnet der Verfasser in Folge dessen auf die Nachsicht des Fachpublikums.

Der Verfasser

# Inhalt.

# Illustrations-Verzeichniss.

---

# Elektrische Einheiten.

## Mass-Einheiten, welche zu elektrischen Messungen dienen.

### I. Die absoluten oder C. G. S. (Centimeter-Gramm-Secunde-) Einheiten.

1. Längeneinheit: 1 Centimeter.

2. Zeiteinheit: 1 Secunde.

3. Krafteinheit. Die Krafteinheit ist diejenige Kraft, welche für eine Secunde lang auf eine frei bewegliche Masse von dem Gewichte eines Grammes wirkend, dieser Masse eine Geschwindigkeit von 1 Centimeter per Secunde verleiht.

4. Die Arbeitseinheit ist die Arbeit, welche von der Krafteinheit verrichtet wird, wenn dieselbe die Entfernung von 1 Centimeter zurücklegt. Diese Einheit ist in Paris = 0·00101915 Centimeter-Gramm, oder mit andern Worten, um das Gewicht eines Grammes einen Centimeter hoch zu heben, sind 980.868 Krafteinheiten nöthig.

5. Die **Einheit der elektrischen Quantität** ist diejenige Quantität von Elektricität, welche auf eine gleich grosse Quantität die einen Centimeter weit entfernt ist, eine Kraft gleich der Krafteinheit ausübt.

6. Die **Einheit des Potentials** oder der **elektromotorischen Kraft** existirt zwischen zwei Punkten, wenn die Einheit der elektrischen Quantität bei ihrer Bewegung von dem einen Punkte zum andern die Krafteinheit gebraucht um die elektrische Abstossung zu überwinden.

7. Die **Widerstandseinheit** ist die Einheit, welche nur einer Quantitätseinheit den Uebergang zwischen zwei Punkten, zwischen welchen die Potentialeinheit existirt, in einer Secunde gestattet.

II. Die sogenannten **praktischen** Einheiten für elektrische Messungen.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. Weber, | Einheit | der magnetischen Quantität | $= 10^8$ | C. G. S. | Einheiten |
| 2. Ohm [1] | » | des Widerstandes | $= 10^9$ | » | » |
| 3. Volt [2] | » | der elektromotor. Kraft | $= 10^8$ | » | » |
| 4. Ampère [3] | » | » Stromstärke | $= 10^{-1}$ | » | » |
| 5. Coulomb | » | » Quantität | $= 10^{-1}$ | » | » |
| 6. Watt [4] | » | » Kraft | $= 10^7$ | » | » |
| 7. Farad | » | » Capacität | $= 10^9$ | » | » |

[1] 1 Ohm ist etwa gleich dem Widerstande von 48·5 Meter reinen Kupferdrahtes von einem Durchmesser von 1 Mm. bei einer Temperatur von 0° Celsius.

[2] Ein Volt ist 5—10% weniger als die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes.

[3] Der Strom, welcher durch die elektromotorische Krafteinheit, die Widerstandseinheit in einer Secunde zu durchfliessen im Stande ist, ist = 1 Amp.

[4] 1 Watt = Ampère × Volt; $1\,HP = \frac{\text{Amp.} \times \text{Volt}}{746}$; 1 Cheval de vapeur $= \frac{\text{Amp.} \times \text{Volt.}}{735.}$

# Einleitung.

## Die historische Entwickelung der magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen.

So lange man sich in der Praxis zur Erzeugung elektrischer Ströme nur der galvanischen Batterien bediente, d. h. so lange man diese Ströme nur durch Einwirkung chemischer Kräfte hervorbrachte, war die Anwendung der Elektricität für grosse Arbeitsleistungen naturgemäss eine sehr beschränkte, da die Unterhaltungskosten der Batterien im Vergleiche zu ihren Leistungen zu hoch sind und die Erzielung constanter Ströme von grosser Stärke und Intensität vermittelst derselben fast unmöglich ist. Erst als man begann, elektrische Ströme durch Umwandlung mechanischer Arbeit zu erzeugen, d. h. erst durch die Erfindung der sogenannten elektrischen Maschinen bot sich für die Nutzbarmachung der elektrischen Energie ein grösseres Feld.

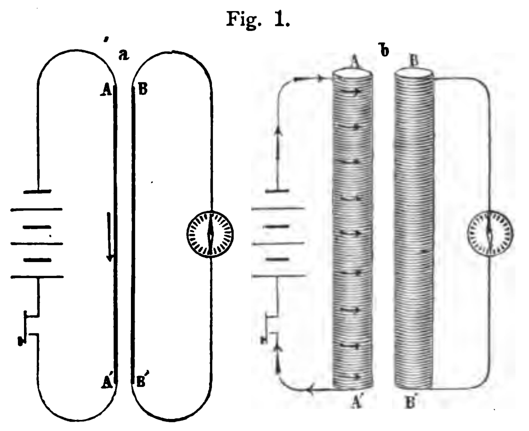
Die theoretische Grundlage für die Construction der elektrischen Maschinen bildeten Faraday's Forschungen in Bezug auf die Inductions-Erscheinungen.

Faraday hatte gezeigt, dass, wenn in einem Schliessungsdrahte ($AA'$, Fig. 1 $a$) ein elektrischer

Strom circulirt, in einem benachbarten parallelen Drahte (*BB'*) unter gewissen Bedingungen Ströme von momentaner Dauer inducirt werden, die, je nach den Umständen, eine dem Hauptstrome (*AA'*) gleiche oder entgegengesetzte Richtung haben, und welche leicht durch die Ablenkung der Nadel eines mit dem Drahte (*BB'*) verbundenen Galvanometers erkennbar sind.

Ein Strom von einer dem Hauptstrome entgegengesetzten Richtung, d. h. in der Richtung von *B'* nach

Fig. 1.




*B* wird erzeugt: 1. in dem Augenblicke, in welchem der Hauptstrom geschlossen wird, 2. wenn man die Drähte *AA'* und *BB'* einander nähert, und 3. wenn man den Strom in *AA'* verstärkt.

Ein Strom von gleicher Richtung mit dem Hauptstrome, d. h. in der Richtung von *B* nach *B'* entsteht: 1. in dem Augenblicke, in welchem der Strom in *AA'* unterbrochen wird, 2. wenn man die Drähte *AA'* und *BB'* von einander entfernt, und 3. wenn man den

Strom in $AA'$ schwächt. Für die Construction der elektrischen Maschinen war besonders die Entdeckung der Näherungs- und Entfernungs-Ströme von Bedeutung.

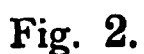
Bei Weitem stärkere Inductionsströme werden in einer Leitung erzeugt, wenn man dem inducirenden Drahte sowohl, wie dem Drahte, in welchem die Ströme inducirt werden sollen, eine Spiralform giebt, und beide in eine solche Stellung zu einander bringt, dass die einzelnen Windungen des einen Drahtes auf die des anderen einwirken können, wie z. B. in Fig. 1 *b*. In diesem Falle wächst die Stärke des in $BB'$ inducirten Stromes, im Allgemeinen, mit der Anzahl der Windungen der beiden Drähte, da durch jede Windung in dem Hauptdrahte $AA'$, unter den oben gegebenen Bedingungen, in jeder benachbarten Windung des Nebendrahtes $BB'$ kleine Ströme inducirt werden, die sich zu einem starken Gesammtstrome summiren.

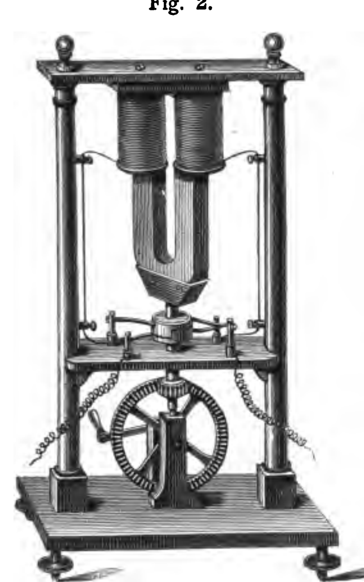
Dieses Factum erhält jedoch erst seine volle Bedeutung für die Praxis durch die Resultate der Forschungen Ampère's, welcher entdeckte, dass man einen Magnet als ein Stück Eisen ansehen kann, das perpetuell von parallelen elektrischen Strömen umkreist wird, und dass man durch Annäherung eines Magnets an einen Leitungsdraht, oder durch Entfernung eines Magnets von einem Leitungsdrahte, in derselben Weise, wie durch eine von einem Strome durchflossene Drahtspirale, inducirte Ströme hervorrufen kann.

Das Verdienst, diese Entdeckung zuerst praktisch zur Erzeugung von elektrischen Strömen verwerthet zu haben, gebührt Pixii, welcher im Jahre 1832 die

erste magnetelektrische Maschine construirte. Die Wirkungsweise dieser in Fig. 2 abgebildeten Maschine wird aus dem Folgenden klar werden.

Nach Ampère ist jeder Magnet in der Weise von parallelen elektrischen Strömen umkreist, dass diese Ströme, wenn der Nordpol des Magnets dem Beschauer zugekehrt ist, in der Richtung circuliren, welche der Richtung des Uhrzeigers entgegengesetzt ist, während, wenn der Südpol dem Beschauer zugekehrt ist, diese Ströme in derselben Richtung wie der Uhrzeiger laufen.


Fig. 2.

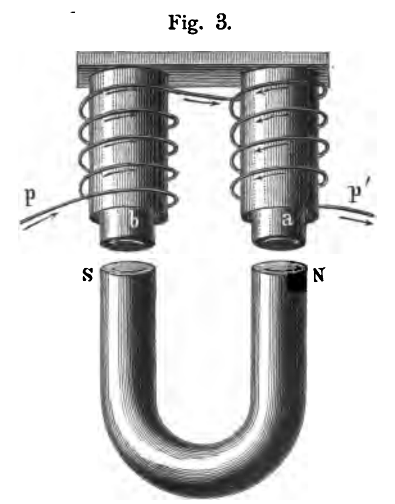


In der Pixii'schen Maschine ist nun, wie Fig. 2 zeigt, ein Hufeisenmagnet, der aus mehreren starken Eisenlamellen besteht, um eine Axe drehbar und befindet sich über derselben der sogenannte Inductor (die Armatur), der aus zwei Drahtspulen besteht, deren Spiralen ein Ganzes bilden, und welche weiche Eisenkerne enthalten, die bei jeder Annäherung der Magnetpole des Magnets dann selber in Magnete verwandelt werden. In Fig. 3 lässt sich deutlicher erkennen, in welcher Weise die Drahtspiralen gewunden

sind, und eignet sich diese Figur besser zur Erläuterung.

Jedesmal, wenn sich der Magnetpol *N* dem weichen Eisenkerne *a* der einen Spule nähert, wird *a* ein Südpol werden, da ein Magnet stets ein benachbartes Stück Eisen in der Weise magnetisirt, dass dem Nordpole gegenüber ein Südpol, und dem Südpole gegenüber ein Nordpol entsteht, und ferner werden in diesem Falle, nach dem Ampère-schen Gesetze, elektrische Ströme erzeugt werden, die den Eisenkern der Spule dann in der Richtung des Uhrzeigers umkreisen. Sowie diese Ströme jedoch ins Leben treten, werden sie in den Windungen der Drahtspule Ströme induciren, die in der Figur von rechts nach links laufen. Zu gleicher Zeit aber wird *b* durch Annäherung des Poles *S* ein Nordpol werden, und den Eisenkern der zweiten Spule werden von rechts nach links laufende Ampère'sche Ströme umkreisen, die ihrerseits im Augenblicke ihres Entstehens in den Windungen der den Eisenkern umgebenden Spirale Ströme in der Richtung des Uhrzeigers induciren.

Fig. 3.




Betrachtet man nun die Fig. 3 genau, so wird man erkennen, dass die in den beiden Spulen gleich-

zeitig erzeugten Ströme, obgleich anscheinend von entgegengesetzter Richtung, dennoch, wie die Pfeile zeigen, in dem Drahtsysteme einen einzigen Strom von derselben Richtung bilden, der von $p$ nach $p'$ läuft und durch die Poldrähte $p$, $p'$ nach Aussen geleitet werden kann.

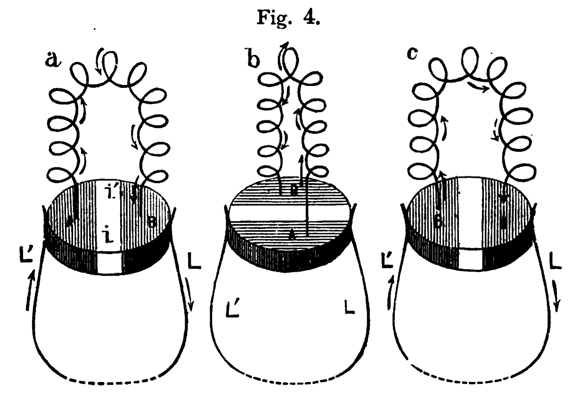
Ein Strom von umgekehrter Richtung, d. h. von $p'$ nach $p$, wird in dem Drahtsysteme der Spulen inducirt, sobald die Pole des Magnets $NS$ sich bei ihrer Drehung wieder von den Eisenkernen $a$ und $b$ entfernen, da die dadurch entstehende allmähliche Demagnetisirung der Eisenkerne eine Schwächung der dieselben umkreisenden Ampère'schen Ströme bedingt, und folglich nach dem Ampère'schen Gesetze diese Schwächung in den umgebenden Drahtspiralen Inductionsströme von einer der vorhergehenden entgegengesetzten Richtung erzeugen muss. Schliesslich werden die Magnetpole sich in der Weise von Neuem den Eisenkernen nähern, dass $N$ sich $b$ und $S$ sich $a$ nähert, und da nunmehr $a$ ein Nordpol und $b$ ein Südpol wird, so wird in den Drahtspiralen ein Strom erzeugt werden, der dem ersten Näherungsstrome entgegengesetzt ist, aber nur eine Fortsetzung des vorhergehenden Entfernungsstromes bildet, wie der Leser, wenn er eine der obigen analoge Analysirung der einzelnen Vorgänge vornimmt, leicht erkennen wird. Nach diesem zweiten Näherungsstrome folgt wieder ein Entfernungsstrom u. s. w., und es ist daher aus dem Gesagten ersichtlich, dass bei jeder vollen axialen Drehung des Magnetes $NS$, der Strom in den Windungen der Drahtspirale zweimal wechselt, und zwar in dem Augen-

blicke, in welchem die Pole *N* und *S* die Enden der Eisenstäbe *a* und *b* passiren.

Um nun die beiden während jeder ganzen Drehung des Magnets *NS* erzeugten entgegengesetzten Ströme in Ströme von gleicher Richtung zu verwandeln, wo solches wünschenswerth ist, kann man mit der Maschine einen sogenannten Commutator oder Stromwender verbinden, dessen Princip aus Fig. 4 ersichtlich ist.

Der eine Pol des Leitungsdrahtes der Inductor-

Fig. 4.




rollen steht mit dem metallischen Segmente *A* (Fig. 4 *a*) in Verbindung, während der andere Poldraht mit dem Segmente *B* verbunden ist. Beide Segmente sind durch den isolirenden Streifen *i i* von einander getrennt und der Commutator ist so befestigt, dass er sich gleichzeitig mit dem Magnete (oder in den später beschriebenen Maschinen gleichzeitig mit dem Inductor) einmal um seine Axe dreht.

Nehmen wir nun an, dass, wenn der Pol *N* sich *a* und der Pol *S* sich *b* nähert, der inducirte Strom

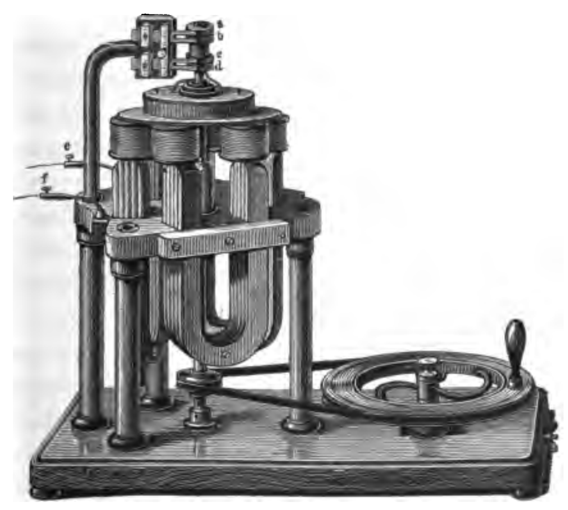
durch die Windungen der Spirale in der Richtung von *A* nach *B* geht, so wird er in dem Leitungsdrahte, dessen Poldrähte *L*, *L'* auf den Metallsegmenten des Commutators schleifen, in der Richtung von *L* nach *L'* laufen. Entfernen sich dann die Pole *N* und *S* wieder von *a* und *b* und tritt der Entfernungsstrom ein, so findet ein Wechsel in der Richtung des Stromes in der Spirale statt, und der Strom circulirt in derselben in der Richtung von *B* nach *A*. Um nun einen Stromwechsel in den Leitungsdrähten zu vermeiden, ist der Commutator so angebracht, dass in dem Augenblicke des Stromwechsels, d. h. während der momentanen Stromlosigkeit der Spirale, die Leitungsdrähte *L*, *L'* auf den Enden des isolirenden Theiles des Commutators schleifen (Fig. 4 *b*), und dass, zugleich mit dem Eintreten des neuen Stromes, *L* sich an *A* und *L'* sich an *B* anlegt; folglich wird der Strom, obgleich er in der Spirale des Inductors von *B* nach *A* geht, in den Leitungsdrähten seine alte Richtung von *L* nach *L'* beibehalten; die beiden während jeder ganzen Umdrehung des Magnets entstehenden entgegengesetzten Ströme werden also durch den Commutator gleichgerichtet.

Die Maschine von Pixii war insoferne nicht besonders praktisch, als in derselben der schwere, aus verschiedenen Eisenlamellen bestehende Magnet vor dem Inductor rotirte, und spätere Constructeure, wie Saxton, Clarke u. A. änderten die Maschine dahin ab, dass sie den leichteren Inductor vor dem Magnete rotiren liessen. Saxton gab ausserdem dem Magnete sowohl, wie den Inductorrollen eine horizontale Lage,

während Clarke die verticale Lage des Magnets beibehielt, dagegen denselben mit seinen Polen nach unten zu aufstellte und die Inductorrollen seitlich vor denselben rotiren liess. Ausserdem ist Saxton auch, wie es scheint, die erste Anwendung des oben beschriebenen Commutators zuzuschreiben.

Eine bedeutende Verstärkung der Wirkung der

Fig. 5.



magnetelektrischen Maschinen wurde von Stöhrer dadurch erzielt, dass er, wie Fig. 5 zeigt, die Anzahl der Inductorrollen sowohl wie die Anzahl der Magnete vermehrte.

In seiner Maschine rotiren sechs Inductorrollen vor den sechs Polen dreier, aus mehreren Stahllamellen bestehender Hufeisenmagnete, und sind die Spiralen der Inductorrollen so gewunden, dass bei jeder Annäherung

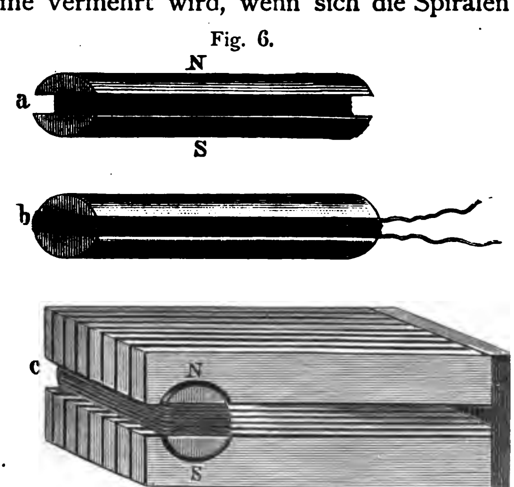
der Rollen an die Magnetpole, in den Spiralen aller Rollen Ströme von gleicher Richtung entstehen, die sich zu einem Strome summiren, während bei jeder Entfernung der Inductorrollen von den Magnetpolen in den Spiralen Ströme inducirt werden, deren Richtung den Näherungsströmen entgegengesetzt ist. Bei jeder ganzen Umdrehung des Inductors werden demnach in dem Drahtgewinde der Inductorrollen sechs summirte Näherungs- und sechs summirte Entfernungsströme erzeugt, von denen ein jeder aus sechs Elementarströmen besteht, und können die Näherungs- und Entfernungsströme, ehe sie in die Leitung gelangen, durch einen mit der Maschine verbundenen Commutator gleichgerichtet werden.

Mit der Stöhrer'schen Maschine wurden so zufriedenstellende Resultate erzielt, dass spätere Constructeure, die Idee Stöhrer's adoptirend, in der Vermehrung der Anzahl der Inductorrollen und Magnetpole fortschritten und auf diese Weise Ströme von ausserordentlicher Stärke und in sehr rascher Aufeinanderfolge zu erzeugen vermochten. Nach und nach entstanden alsdann jene grossen magnetelektrischen Maschinen für Wechselströme, die wie die der Gesellschaft »Alliance«, construirt von Nollet, und die Maschinen von Holmes, Lontin u. A. unter bestimmten Umständen und besonders zur Erzeugung des elektrischen Lichtes auf Leuchtthürmen auch heute noch neben den Maschinen für continuirliche Ströme in der Praxis verwendet werden. Alle diese Maschinen, die im Grunde genommen nur Pixii-Maschinen von grossen Dimensionen sind, werden in dem Capitel »Maschinen zur Erzeugung von Wechselströmen« besprochen werden.

Eine bemerkenswerthe Abänderung in der Construction der magnetelektrischen Maschinen wurde im Jahre 1857 durch Dr. Werner Siemens in Berlin vorgenommen, welcher die Form der Inductorrollen bedeutend verbesserte.

Die Erfahrung zeigte nämlich schnell, dass die Stärke der von den magnetelektrischen Maschinen erzeugten Ströme vermehrt wird, wenn sich die Spiralen des Inductors möglichst nahe den Magnetpolen befinden, und dass ausserdem die Wirksamkeit der Maschine von einer möglichst kurzen Zeitdauer der bei dem Stromwechsel eintretenden Stromunterbrechungen abhängt. Beide Erfahrungssätze hat Siemens in der Construction seines Inductors berücksichtigt, dessen einfachste Form die in Fig. 6 abgebildete ist.

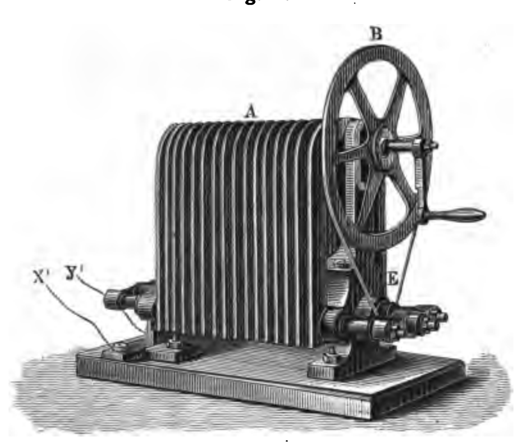
Fig. 6.




Ein Eisencylinder (Fig. 6 *a*) *a b* ist mit zwei rinnenförmigen Ausschnitten versehen und die Spiralen des Leitungsdrahtes sind um diesen Cylinder parallel mit seiner Längenaxe so gewickelt, dass die Rinnen durch

sie ausgefüllt sind und die vollständige Cylinderform wieder hergestellt wird (Fig. 6 *b*). Von den Enddrähten ist der eine leitend mit der Axe verbunden, während der zweite mit einem auf der Axe befestigten, aber von ihr isolirten Ringe in Verbindung steht. Zwei Federn, von denen die eine auf dem isolirten Ringe, die andere auf der Axe schleift, leiten die Ströme nach Aussen.

Fig. 7.




In Fig. 7 ist eine kleine Siemens'sche Maschine abgebildet, und lässt sich aus dieser Abbildung erkennen, welche Stellung der rotirende Cylinder zwischen den Polen der Magnete, deren in den Siemens'schen Maschinen meistens eine grosse Anzahl vorhanden sind, einnimmt. Die Pole der Magnete sind (Fig. 6 *c*) mit halbkreisförmigen Ausschnitten versehen, so dass der Cylinder von denselben beinahe ganz umgeben wird, und wird, wie aus der ganzen Construction der Siemens'schen

Maschine erkenntlich ist, die inducirende Wirkung der permanenten Magnete in denselben weit besser ausgenützt, als in den vorher beschriebenen magnetelektrischen Maschinen.

Ein besonderer Vortheil der Form des Cylinder-Inductors ist der, dass nicht nur die Magnetisirung des weichen Eisenkernes des Inductors in der ausgedehntesten Weise ermöglicht wird, sondern dass auch die Pole der Stahlmagnete direct auf die Spiralen der Drahtwindungen einen starken inducirenden Einfluss ausüben können, welcher die durch den Magnetismus des weichen Eisenkerns inducirten Ströme noch bedeutend verstärkt. Ausserdem aber ist auch bei Anwendung des Cylinder-Inductors die Dauer der Stromunterbrechung auf ein Minimum reducirt, da der Polwechsel bei rascher Drehung des Cylinders in äusserst kurzen Intervallen stattfindet, und dieser Umstand erhöht bedeutend die Leistungsfähigkeit der Maschinen.

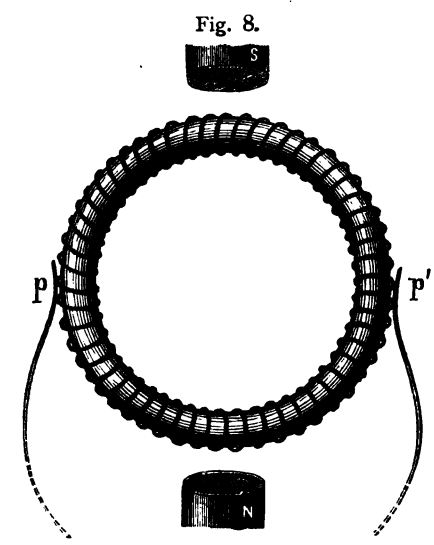
Die soeben beschriebene Form des Cylinder-Inductors, welche wohl nur noch bei dem sogenannten Siemens'schen Läute-Inductor vorhanden ist, wurde später sehr modificirt und so vervollkommnet, dass die cylindrische Form des Inductors sich mit grossem Erfolge auch noch heute in der Praxis behauptet und nicht durch die Form des Ring-Inductors verdrängt werden konnte, dessen Beschreibung wir uns nun zuwenden.

Der Ring-Inductor, welcher in der Construction der elektrischen Maschinen geradezu epochemachend wirkte, wurde von Dr. Antonio Pacinotti in Florenz im Jahre 1860 erfunden, und durch Anwendung dieses

Inductors gelang es zum ersten Male vermittelst einer elektrischen Maschine continuirliche Ströme von gleicher Richtung zu erzeugen, ohne dass man dazu eines Commutators bedurfte.

Da der Pacinotti'sche Ring-Inductor in allen Maschinen, die nach dem sogenannten Gramme'schen Systeme construirt sind, wiederkehrt, und sein Princip in fast allen Maschinen für continuirliche Ströme von gleicher Richtung zur Geltung kommt, so wird es nothwendig sein, die Wirkungsweise desselben genau zu analysiren.

Fig. 8.



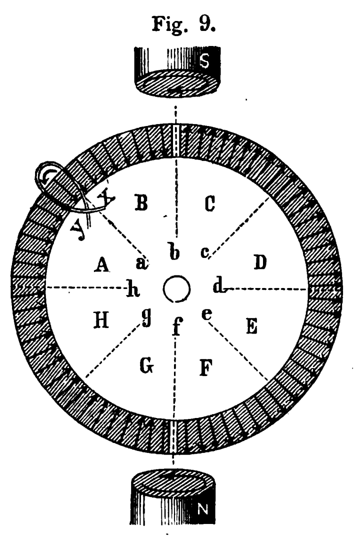

Wenn sich ein Ring aus weichem Eisen (Fig. 8) zwischen zwei Magnetpolen *NS* befindet, so wird dem Nordpole *N* gegenüber ein Südpol *s*, und dem Südpole *S* gegenüber ein Nordpol *n* entstehen. Dreht man nun den Eisenring um seine Axe von rechts nach links, so werden nach und nach andere Stellen des Ringes magnetisirt werden, während die vorher magnetisirten Stellen ihren Magnetismus wieder verlieren werden, und die Pole werden in dem Eisenringe von links nach rechts

wandern. Ist dieser Ring, wie in der Fig. 8, mit einer continuirlichen Spirale von Kupferdraht umwunden, so werden in dem Kupferdrahte Ströme inducirt werden, welche in den einzelnen Windungen der Spirale verschiedene Richtung haben, je nachdem sich die Windungen nahe dem Nordpole oder nahe dem Südpole des Eisenringes befinden, und da die Pole in dem Ringe in Folge der Drehung wechseln, so werden auch die Ströme in den umgebenden Windungen naturgemäss ihre Richtung verändern. Um die Vorgänge, die bei der Drehung des Ringes stattfinden, besser zu verstehen, kann man sich den Ring als Magnet feststehend denken, da ja seine Pole so wie so stets in der Axe *NS* liegen werden, und man kann annehmen, dass die Windungen der Spirale von links nach rechts um den Ring laufen und so nach und nach sich der maximalen inducirenden Wirkung der Pole *N* und *S* aussetzen. Der Einfachheit halber wollen wir nur die Wirkung der Induction in einer einzigen Windung der Spirale betrachten und uns den Ring gespalten denken, so dass *S* gegenüber zwei Nordpole und *N* gegenüber zwei Südpole zusammenstossen.

In diesem Falle werden die Ampère'schen Ströme (Fig. 9) den Ring in der von den Pfeilen angedeuteten Weise umkreisen. Wenn wir nun unsere Betrachtung in dem Augenblicke beginnen, in welchem die Spiralwindung *x y* sich befindet, wo die punktirte Linie *h* den Ring durchschneidet und ihre Bewegung von links nach rechts antritt, so sehen wir, dass sie, um nur von den nächstliegenden Theilen des Ringes zu reden, sich den Abtheilungen *A* und *B* nähert, während sie sich gleich-

zeitig von den Abtheilungen *G* und *H* entfernt. Bezeichnen wir den in dem Drahte inducirten Strom mit + wenn derselbe die Richtung von der Peripherie des Ringes nach dem Centrum zu hat und mit — wenn derselbe eine Richtung hat, die von dem Centrum nach der Peripherie zu führt, und zwar mit + 2 und — 2, wenn er durch die anstossenden Partien des Ringes inducirt wird, und mit + 1 und — 1, wenn er durch die um mehr als 45⁰ entfernten Partien des Ringes, die einen geringeren Einfluss ausüben als die näherliegenden Theile, hervorgerufen wird, so wird man den in der Windung inducirten Strom in dem Augenblicke, in welchem dieselbe ihre Bewegung von *h* nach rechts antritt, durch die Summe der Factoren + 1, + 2, — 2, — 1, d. h. durch Null, ausdrücken können; denn in der Spiralwindung *x y* wird durch die Entfernung von den Ringtheilen *G* und *H* ein Entfernungsstrom erzeugt werden, der nach dem Inductionsgesetze den Ampère'schen Strömen des Eisenringes gleich ist, während durch die Annäherung an die Ringtheile *A* und *B* in der Spiralwindung ein Näherungsstrom inducirt werden wird,

Fig. 9.



welcher eine den Ampère'schen Strömen dieser Ringtheile entgegengesetzte Richtung hat. Beide Ströme werden sich in dem Augenblicke, in welchem die Spiralwindung $h$ verlässt, da sie an Stärke gleich sind, aufheben.

Ist die Spiralwindung in dem Punkte $a$ angelangt und tritt sie ihre weitere Drehung an, so wird sich der durch die Ringtheile $B$ und $C$ inducirte Näherungsstrom im Verein mit dem durch die Ringtheile $H$ und $A$ inducirten Entfernungsstrom durch die Summe aus folgenden Factoren ausdrücken lassen: $+ 1 + 2 - 2 + 1$, d. h. $+ 2$. Wenn die Windung, $x$ $y$, $b$ verlässt, wird die Summe gleich $+ 1 + 2 + 2 + 1$, d. h. gleich $+ 6$ sein. Bei dem Verlassen des Punktes $c$ ist der inducirte Strom gleich $+ 1 - 2 + 2 + 1 = + 2$. Wenn die Spiralwindung $d$ passirt hat, so lässt sich die auf sie ausgeübte Wirkung durch die Factoren $- 1 - 2 + 2 + 1$, d. h. durch die Summe Null ausdrücken und der Draht der Spiralwindung ist demnach wieder stromlos.

Gelangt nun die Spiralwindung zu dem Punkte $e$ und setzt sie ihre Bewegung gegen den von dem Nordpol $N$ am stärksten beeinflussten Punkt des Ringes fort, so wird der in ihr nach dem Verlassen von $e$ inducirte Strom durch die Summe der Factoren $- 1 - 2 + 2 - 1$, d. h. durch $- 2$ ausgedrückt werden können; der Strom hat also seine bisherige Richtung gewechselt. Bei $f$ wird der in der neuen Richtung laufende Strom sein Maximum erreichen und gleich $- 6$ sein, bei $g$ wird seine Stärke wieder fallen auf $- 2$ und nachdem der Strom bei $h$ auf Null gesunken ist, wird von Neuem ein Stromwechsel eintreten, welcher dem Strome wieder das Vorzeichen $+$ verleiht.

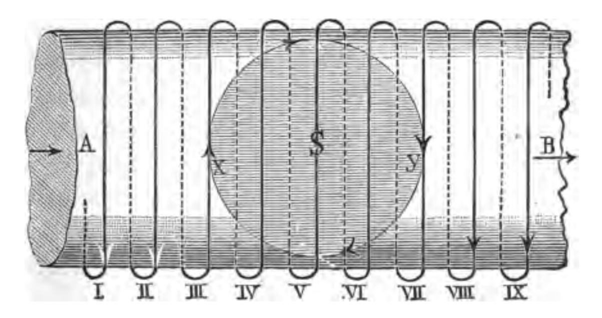
Was wir nun von der einen Spiralwindung $x$ $y$ gesagt haben, gilt natürlich für alle Windungen und Gruppen von Windungen, die sich in den betreffenden Stellungen befinden, und aus der obigen Betrachtung geht hervor, dass man sich das ganze den Ring umgebende Drahtsystem von zwei entgegengesetzten Summenströmen durchflossen denken kann, die (Fig. 8) bei $p$ und $p'$ zusammenstossen, und zwar wird der eine Strom, welcher aus den Einzelströmen aller Spiralen besteht, die die Ringscheibe *A B C D* umgeben, nach der obigen Erklärung mit dem Vorzeichen + bezeichnet werden können, während der andere, welcher diejenigen Ströme summirt, die durch die, die Theile *E F G H* umgebenden Spiralen circuliren, mit dem Vorzeichen — bezeichnet werden kann. Durch die Drehung des Ringes wird die Sachlage nur insofern geändert, als fortwährend neue Spiralen und Drahtgruppen in die von den beiden entgegengesetzten Strömen dominirten Stellungen kommen, und passirt bei jeder ganzen Drehung des Ringes jede Spirale einmal einen jeden der beiden neutralen Punkte.

Das bisher Gesagte bezieht sich jedoch blos auf die inducirende Wirkung, welche der magnetisirte Eisenring auf die ihn umgebenden Spiralen ausübt; es bleibt nun noch übrig, die Wirkung der feststehenden Pole *S* und *N* (Fig. 8) auf das zwischen ihnen rotirende Drahtsystem zu analysiren und zwar wollen wir die in Figur 8 angegebene Stellung der Pole beibehalten.

In dieser Stellung stehen die Spiralen, wenn sie die Magnetpole passiren, senkrecht auf der Querschnittfläche der Polstücke.

Zur Erläuterung diene Figur 10, in welcher *A B* ein Stück des rotirenden Ringes darstellt, auf dem die in Wirklichkeit dicht neben einander liegenden Windungen des Drahtsystems etwas auseinander gerückt sind. *S* deutet die Stellung des Südpoles an, den man sich in der Figur unterhalb des Ringes denken muss, und die Pfeile zeigen die Richtung, in welcher die Ampère'schen Ströme ihn umkreisen. Denkt man sich nun den Ring in der Richtung von *A* nach *B* bewegt und berücksichtigt man nur die Theile der Spiralen, welche sich

Fig. 10.




an der Aussenseite des Ringes befinden und welche in der Figur mit vollen Linien gezeichnet sind, während man die an der Innenseite des Ringes befindlichen durch punktirte Linien angedeuteten Theile der Spiralen einstweilen ausser Acht lässt, so werden in den Spiralen *I* und *II* Näherungsströme entstehen, welche wegen der Richtung der Ampère'schen Ströme bei *x* eine denselben entgegengesetzte Richtung — in der Figur von oben nach unten — haben, während in den Spiralen *VIII* und *IX* Entfernungsströme — in

der Figur ebenfalls in der Richtung von oben nach unten — auftreten werden; hervorgerufen durch die Richtung der Ampère'schen Ströme bei *y*, von denen sie sich entfernen.

Mit anderen Worten, in allen Spiralen links und rechts von dem Südpol werden Ströme von derselben Richtung inducirt werden und ist diese Richtung genau dieselbe, wie die der durch die Magnetisirung des Eisenringes inducirten Ströme.

Zieht man nun auch die an der Innenseite des Ringes liegenden Drahttheile der Spiralen, welche durch die punktirten Linien angedeutet sind, in Betracht, so würden in denselben, wenn der Eisenkern der Spiralen nicht vorhanden wäre, durch den Südpol *S* Ströme inducirt werden, welche in der Zeichnung ebenfalls von oben nach unten laufen würden; die in den äusseren und inneren Theilen der Spiralen inducirten Ströme würden sich also gegenseitig hindern, und wenn die an der Innenseite des Ringes liegenden Spiralentheile dem Pole des Magnets ebenso nahe wären, wie die an der Aussenseite liegenden Theile, so würden die in ihnen inducirten Ströme gleich stark sein und sich gegenseitig annulliren. Dieses ist jedoch nicht der Fall; denn erstens sind die an der Innenseite des Ringes liegenden Spiralentheile von dem Pole *S* weiter entfernt als die an der Aussenseite liegenden Theile, und die in den letzteren erzeugten Ströme würden so wie so die Oberhand behalten, selbst wenn der eiserne Kern des Ringes nicht vorhanden wäre, und zweitens scheidet in Wirklichkeit der Eisenring die inneren Spiralentheile von den Magneten und annullirt vollkommen die Wirkung

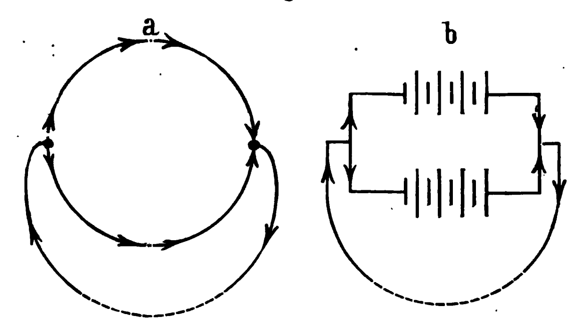
desselben auf diese Theile, so dass die in den an der Aussenseite des Ringes liegenden Spiralentheilen erzeugten Ströme ungestört wirken können, Da nun diese Ströme den durch den magnetisirten Eisenring inducirten Strömen in Bezug auf die Richtung vollständig gleich sind, so verstärken sie erheblich die Wirkungen der letzteren.

Bei unserer Auseinandersetzung haben wir jedoch bisher nur von den rechts und links von dem Pole befindlichen Spiralen gesprochen, während die Spiralen *III*, *IV*, *V*, *VI* und *VII* nicht in Betracht gezogen wurden. Die Wirkungsweise des Poles *S* auf diese Spiralen ist gleich Null, wie aus dem Folgenden hervorgeht:

In der Spirale *IV* wird der inducirte Strom vorwiegend ein Entfernungsstrom von $x$ sein, welcher demnach dieselbe Richtung hat wie der Ampère'sche Strom bei $x$, in Spirale *VI* wird ein Näherungsstrom vorherrschen, welcher eine dem vorigen gleiche Richtung haben wird, da seine Richtung der des Ampère'schen Stromes bei $y$ entgegengesetzt sein muss, und auf Spirale *V* wird die Entfernung von $x$ und die Annäherung an $y$ eine gleich starke Wirkung ausüben, d. h. es wird in derselben ein Strom von doppelter Stärke und von einer den Strömen in *IV* und *VI* ebenfalls gleichen Richtung entstehen. Wenn nun alle Spiralen, wie dieses in der Zeichnung und auch in Wirklichkeit der Fall ist, gleich weit von einander entfernt sind, so werden die entgegengesetzten Ströme in *II* und *IV* gleiche Stärke haben und sich aufheben und bei Draht *III* wird ein Stromwechsel stattfinden, wodurch Draht *III* stromlos wird. Ebenso wird Draht *VII* stromlos werden durch die sich gegen-

seitig aufhebenden Ströme in *VI* und *VIII*, und bei gleicher Entfernung der Ströme *II* und *VIII* von *V* wird also auch der Doppelstrom in *V* durch die ihm entgegengesetzte Richtung der Ströme *I* und *IX* annullirt werden und alle Spiralen von *IV* bis *VII* werden demnach stromlos sein; das Resultat bleibt also der in den rechts und links von dem Südpole liegenden Spiralen erzeugte Strom, welcher, wie gesagt, den durch den Magnetismus des Eisenkerns in den Drahtwindungen erzeugten Strom verstärkt. Dass eine analoge Wirkung auch von dem

Fig. 11.

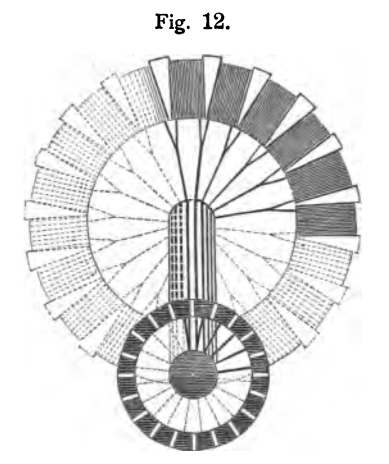



Nordpol auf die ihm benachbarten Spiralen ausgeübt wird, bedarf keines besonderen Nachweises und aus den obigen Betrachtungen geht deutlich hervor, dass die durch die Magnetisirung des eisernen Ringes erzeugten Summenströme von entgegengesetzter Richtung sich mit den durch die directe Einwirkung der feststehenden Magnetpole auf die Spiralen entstehenden ebenfalls einander entgegengesetzten Strömen vereinigen.

Die beiden verstärkten Summenströme, welche in dem den Ring umgebenden Drahtsysteme so ent-

stehen, kann man nun an den neutralen Stellen (Fig. 8 *p p'*), wo die Richtungen derselben zusammenstossen, auffangen und wie Figur 11 *a* zeigt zu einem einzigen Strome verbinden und gerade so wie den Strom der Elemente einer auf Quantität gekoppelten galvanischen Batterie ableiten (Fig. 11 *b*). Dieses hat Pacinotti in seiner Maschine gethan, indem er die seinen Ring-Inductor umgebende Drahtspirale in Gruppen eintheilte und den einzelnen Theilen seiner Maschine die in den Figuren 12 und 13 abgebildete Form gab.

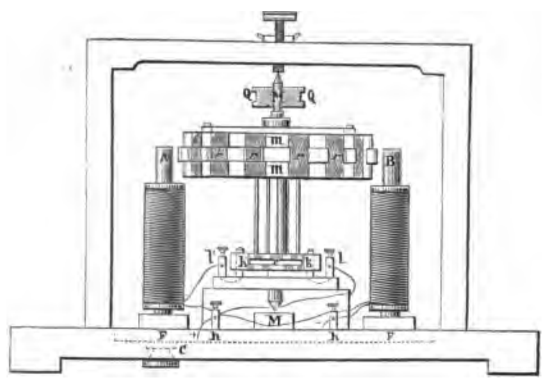
Fig. 12.



Der Eisenring, welcher sich zwischen zwei Magnetpolen bewegt, hat sechzehn Ausschnitte und dienen dieselben zur Aufnahme von sechzehn Drahtspulen (Fig. 12), deren Drähte in der Weise gewunden sind, dass alle Windungen dieselbe Richtung haben. Das Ende einer jeden Spule ist mit dem Anfange der andern Spule zusammengelöthet, so dass die Windungen aller Spulen zusammen eine einzige zusammenhängende Spirale bilden. Auf den zahnartigen Theilen des Eisenringes sind Holzkeile angebracht, welche die einzelnen Spulen von einander trennen, und von denjenigen Stellen, an welchen der Enddraht und Anfangsdraht von zwei Spulen zusammengelöthet ist, zweigen Kupferdrähte

ab, die von der inneren Peripherie des Ringes nach der Axe zu laufen, dort einen rechten Winkel machen und dann zu verschiedenen von einander isolirten Messingstückchen führen, die, wie Figur 13 zeigt, zusammen einen auf der Maschinenaxe befestigten Ring bilden. Zwei sogenannte Contactrollen *k*, *k* berühren diesen Ring und haben eine solche Stellung, dass sie stets mit denjenigen Messingstückchen in leitender Verbindung sind, zu welchen die Zweigdrähte von den sich

Fig. 13.




momentan in den neutralen Punkten (Fig. 8) *p p'* befindlichen Löthstellen führen.

Wenn nun mit diesen Contactrollen die Leitungsdrähte verbunden sind, so circuliren bei jeder Umdrehung des Ringes sechzehn Summenströme in dem Stromkreise, da jede der sechzehn Löthstellen einmal je einen der neutralen Punkte passirt, und haben alle diese Ströme gleiche Richtung, ohne dass es dazu der Anwendung eines Commutators bedarf; die Grund-

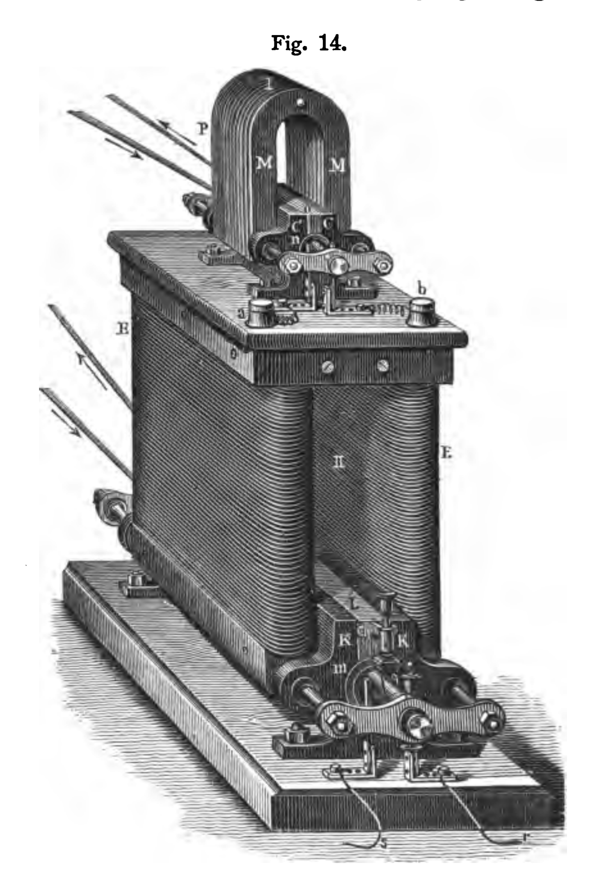
lage für die Construction von elektrischen Maschinen für continuirliche Ströme von gleicher Richtung ist somit gegeben. Die Construction des Ring-Inductors wurde später bedeutend verbessert durch den Belgier Gramme und werden die von diesem Erfinder construirten Ring-Inductoren in dem Capitel über »Maschinen, welche continuirliche Ströme von gleicher Richtung erzeugen« näher beschrieben werden.

Ein weiterer Fortschritt in der Verbesserung der elektrischen Maschinen wurde von H. Wilde in Manchester im Jahre 1866 gemacht. Wilde leitete die in einem Siemens'schen Cylinder-Inductor (Fig. 14) *c c* durch die permanenten Magnete *M M* erzeugten Ströme, nachdem sie durch einen Commutator gleich gerichtet waren, in die Windungen eines grossen Elektromagnets *E E*, welcher in einem zweiten Siemens'schen Cylinder-Inductor *K K* Ströme inducirte, die natürlich, da dieser Inductor sich in einem sehr wirksamen magnetischen Felde bewegte, von bedeutender Stärke waren. Mit einer auf diese Art construirten Maschine wurden Wirkungen erzielt, wie solche mit elektrischen Maschinen bis dahin noch nicht erreicht worden waren. Später construirte Wilde auch eine Maschine, mit der man noch stärkere Ströme erhielt, indem er die in dem Inductor *K K* inducirten Ströme durch die Windungen eines zweiten Elektromagnets von ausserordentlichen Dimensionen leitete und diesen auf einen dritten Cylinder-Inductor einwirken liess, in dessen Draht alsdann der zur Arbeit verwendete Strom erzeugt wurde.

Die Wilde'schen Maschinen fanden bald vielseitige Verwendung in der Praxis und eine Anzahl derselben

wurde in der berühmten galvanoplastischen Fabrik von Elkington in Birmingham zur Erzeugung von galvano-

Fig. 14.




plastischen Niederschlägen in grossem Massstabe verwendet, andere wurden zur Erzeugung von elektrischem Lichte in photographischen Ateliers gebraucht und

wieder andere benutzte man in Whitechapel zur Darstellung von Ozon als Bleichmittel.

Nichtsdestoweniger liessen auch noch diese Maschinen viel zu wünschen übrig und es scheint, dass durch starke Erhitzung der Eisenkerne der Elektromagnete der Strom nach einer Arbeitszeit von mehreren Stunden bedeutend geschwächt wurde und nicht lange genug constant gehalten werden konnte, um zur Erzeugung von elektrischem Lichte in Leuchtthürmen vortheilhaft verwerthet werden zu können. Die Gründe für die Erhitzung der Eisenkerne sind an anderer Stelle dieses Buches genauer besprochen.

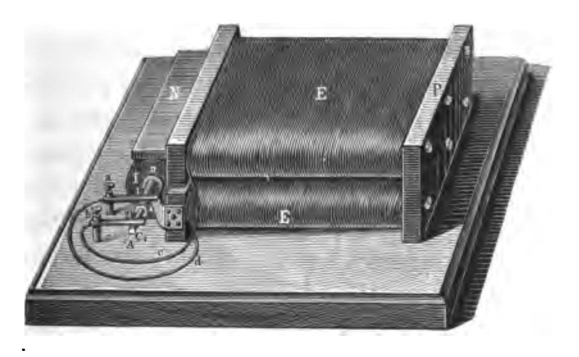
In allen bisher beschriebenen Maschinen wurden die elektrischen Ströme entweder durch Stahlmagnete, oder wie in den Wilde'schen Maschinen durch Magnete inducirt, die ihren Magnetismus durch den in einer anderen Maschine erzeugten Strom erhielten, und Maschinen dieser Art pflegt man magnetelektrische Maschinen zu nennen, im Gegensatze zu den sogenannten dynamoelektrischen Maschinen, in welchen die inducirenden Magnete aus Kernen von weichem Eisen bestehen, die ursprünglich nur eine ganz geringe Spur von Magnetismus besitzen, der jedoch genügt, einen schwachen Strom in den Spiralen des rotirenden Inductors zu induciren, welcher letztere alsdann zur Verstärkung des Magnetismus der inducirenden Magnete benützt wird. Dieser Strom wird nämlich durch die die Eisenkerne umgebenden Drahtspiralen geleitet, erhöht den Magnetismus der Eisenkerne, welche nunmehr in den Inductorspiralen einen neuen, jedoch stärkeren Strom hervorrufen, der wiederum seinerseits auf den Magnetismus

der Eisenkerne zurückwirkt, indem er wie der vorige durch die dieselben umgebenden Drahtspiralen geleitet wird, und durch diese Wechselwirkung werden schliesslich, bei einem verhältnissmässig geringen Umfange der einzelnen Theile der Maschine, in den Inductorspiralen Ströme erzeugt, die bei Weitem stärker sind als die Ströme, welche man vermittelst gleich grosser Maschinen mit Stahlmagneten hervorzubringen im Stande ist. Da der Anfangsmagnetismus in den Magneten dieser Maschinen, ohne permanente Magnete, ein sehr geringer ist, und die Wirkung hauptsächlich von der Zahl der Drehungen des Inductors vor den Polen der inducirenden Eisenkerne abhängig ist, da also vorzugsweise die angewendete dynamische oder mechanische Kraft, welche während der Rotation des Inductors verbraucht wird, in Betracht kommt, so hat man diesen Maschinen den Namen dynamoelektrische Maschinen gegeben, obgleich dieselben im Grunde genommen nur modificirte magnetelektrische Maschinen sind.

Das Princip der dynamoelektrischen Maschine wurde fast gleichzeitig von Siemens in Berlin und Wheatstone in England entdeckt, doch gebührt Siemens unzweifelhaft die Priorität, da derselbe schon im December 1866 vor einigen Berliner Gelehrten mit einer Maschine ohne permanente Magnete Versuche angestellt hatte, und bereits Mitte Januar 1867 der Berliner Akademie der Wissenschaften seine Entdeckung mittheilte, während Wheatstone erst am 14. Februar in seinem Vortrage, betitelt: »On the Augmentation of the Power of a Magnet by the Rotation thereon

of Currents induced by the Magnet itself« vor der »Royal Society« in London das Resultat seiner Entdeckung veröffentlichte, welches mit dem von Siemens erhaltenen vollständig übereinstimmte. Merkwürdiger Weise wurde die Entdeckung des Berliner Physikers von dessen Bruder Dr. William Siemens in derselben Sitzung der »Royal Society« bekannt gemacht, in welcher Wheastone seinen Vortrag hielt, und zwar folgte Wheastone's Vortrag direct auf den Siemens-

Fig. 15.




schen Vortrag; es wurde den Hörern also eine günstige Gelegenheit gegeben, zu erkennen, dass Siemens und Wheastone auf verschiedenen Wegen zu demselben Ziele gelangt waren.

Die einfachste Art der dynamoelektrischen Maschine ist in Fig. 15 abgebildet.

*E E* sind zwei Platten aus weichem Eisen, deren jede etwa 60 Cm. lang, 50 Cm. breit und 10 Cm. dick ist und die hinten durch eine dritte Platte *P* mit einander verbunden sind. Jede der Platten *E E* ist von den

Spiralen eines etwa 27 M. langen, ziemlich dicken und gut isolirten Kupferdrahtes umgeben, und sind die Spiralen beider Platten so gewunden, dass sie als eine einzige Spirale betrachtet werden können, deren Enddrähte *c*, *d* zu den Klemmschrauben *a* und *b* führen. *I* ist ein Siemens'scher Cylinder-Inductor, welcher zwischen den hervorragenden Enden der Eisenplatten rotirt und dessen Spirale mit dem einen Ende auf der Axe *A* befestigt ist, während das andere Ende mit einem auf der Axe befestigten, aber von derselben isolirten Kupferringe *R* in Verbindung steht. Auf der Axe *A* schleift eine mit der Schraube *b* verbundene Feder *o*, während auf dem Kupferringe *R* eine mit der Schraube *a* verbundene Feder ruht. Vor dem ersten Gebrauche der Maschine erzeugt man in den weichen Eisenplatten *E E* einen ganz geringen Magnetismus, indem man die Drähte *c d* mit einem galvanischen Elemente in Verbindung bringt und durch die die Eisenkerne umgebenden Spiralen einen Strom circuliren lässt, welcher nach seinem Aufhören etwas sogenannten remanenten Magnetismus zurücklässt. Es ist jedoch in der Praxis auch dieses nicht einmal nöthig, da durch den Einfluss des Erdmagnetismus fast in allen weichen Eisenplatten, die sich in einer bestimmten Lage befinden, eine geringe magnetische Polarität entsteht, welche vollständig genügt, um den ersten Strom in dem Inductor einer dynamoelektrischen Maschine zu induciren; und nachdem eine solche Maschine einmal in den Gang gesetzt ist, bleibt in ihren Eisenkernen stets so viel Magnetismus zurück, dass dieselbe zu jeder Zeit zur Erzeugung von elektrischen Strömen bereit ist.

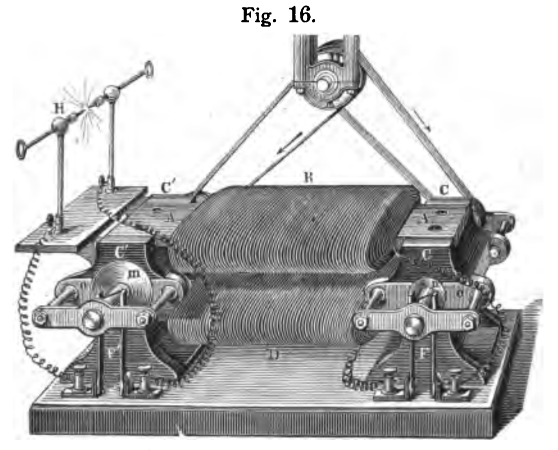
Setzt man nun den Cylinder-Inductor in Bewegung, so werden bei seiner ersten Umdrehung zwischen den Polenden, in den ihn umgebenden Spiralen Ströme entstehen, welche in ihrer Richtung abwechseln. Diese Ströme werden durch einen Commutator, der in der Zeichnung fortgelassen ist, gleichgerichtet und circuliren, da die Enden der Inductorspulen vermittelst der Schrauben *a* und *b* mit den Enddrähten der die Eisenkerne umgebenden Spiralen in Verbindung stehen, um die Platten aus weichem Eisen, deren Magnetismus sie verstärken. Der verstärkte Magnetismus erzeugt neue und stärkere Inductionsströme, welche wiederum die Eisenkerne umkreisen, und schliesslich nach einer gewissen Anzahl von Umdrehungen erhalten die Eisenkerne das Maximum des Magnetismus, den sie überhaupt aufzunehmen im Stande sind; mit anderen Worten, die Maschine erreicht das Maximum ihrer Wirksamkeit, und die in dem Inductor erzeugten starken Ströme geben sich nun, wenn man die Leitung an irgend einer Stelle unterbricht, durch einen starken Funken kund, den man z. B. zur Sprengung von Minen, zur Entzündung von Torpedos u. s. w. benützen kann; oder man kann die starken Ströme der Maschine, wie dieses in den sogenannten Siemens'schen Läute-Inductoren geschieht, zur Auslösung von schweren Läutewerken auf den Eisenbahnstationen und bei anderen Signaleinrichtungen verwenden.

Eine werthvolle Modification der dynamoelektrischen Maschinen wurde bereits vier Wochen, nachdem die obenerwähnten Vorträge in London gehalten worden waren, durch den Engländer Ladd gemacht, welcher

am 14. März 1867 eine Beschreibung seiner dynamoelektrischen Maschine an die »Royal Society« sandte, und Mitte Mai 1867 seine Maschine auf die Pariser Ausstellung brachte.

Diese Maschine zeichnete sich dadurch aus, dass die beiden Eisenplatten nicht miteinander verbunden waren, sondern sich in zwei Elektromagnete verwandelten, zwischen deren Polen zwei Inductoren rotirten

Fig. 16.




(Fig. 16), von denen der eine zur Verstärkung des Magnetismus der Eisenplatten auf elektrodynamischem Wege diente, während die Ströme des anderen zur Arbeitsleistung, d. h. zur Erzeugung von elektrischem Licht, zur Hervorbringung galvanoplastischer Niederschläge u. s. w. angewandt werden konnten.

Die Firma Siemens & Halske in Berlin construirte später ebenfalls Maschinen mit mehreren Inductoren und erhielt besonders durch eine Maschine gute

Erfolge, welche aus drei wagrecht nebeneinander liegenden Plattenpaaren bestand, die bei dem Gebrauche sich in 6 Elektromagnete verwandelten, zwischen deren 12 Polen 6 Inductoren rotirten, und die Ströme erzeugte, welche vermittelst eigenartig construirter Commutatoren in der verschiedensten Weise combinirt werden konnten.

Auch andere Constructeure veränderten und verbesserten nach und nach auf verschiedene Weise die dynamoelektrischen Maschinen; alle diese Verbesserungen enthielten jedoch im Principe nichts Neues und bezogen sich nur auf die Anordnung einzelner Theile. Eine principielle Veränderung der elektrischen Maschinen hat seit der Entdeckung des dynamoelektrischen Princips nicht mehr stattgefunden; alle in den folgenden Capiteln beschriebenen und heute in der Praxis angewendeten Maschinen beruhen daher auf Modificationen und Combinationen der bisher erwähnten historischen Apparate.

---

# I.

# Maschinen, welche Wechselströme erzeugen.

Obgleich man die elektrischen Maschinen nach verschiedenen Gesichtspunkten eintheilen kann, und obgleich die Eintheilung derselben in magnetelektrische und dynamoelektrische Maschinen die gewöhnliche ist, so dürfte dennoch für eine rationelle Classificirung eine

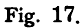
Gruppirung derselben nach dem Charakter der durch sie erzeugten Ströme vorzuziehen sein, und sind dieselben daher in den beiden folgenden Capiteln in Maschinen, welche Wechselströme erzeugen, und in Maschinen, welche continuirliche Ströme von gleicher Richtung erzeugen, eingetheilt.

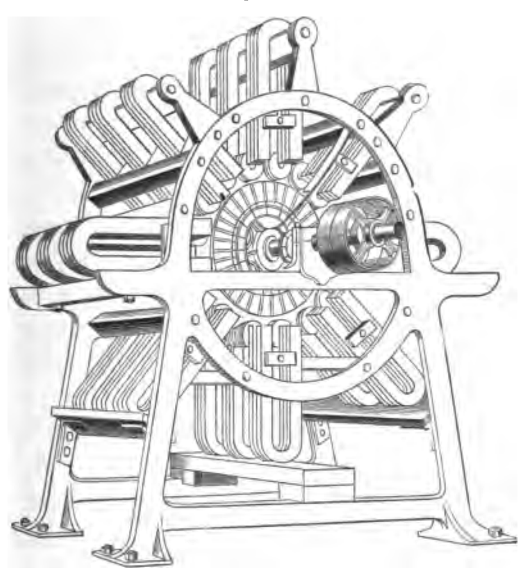
Die ersten grossen Wechselstrom-Maschinen wurden zur Erzeugung des elektrischen Lichtes auf Leuchtthürmen von der Compagnie »l'Alliance« construirt, weshalb sie unter dem Namen Alliance-Maschinen bekannt sind. Der Erfinder der Alliance-Maschinen, die auch heute noch von derselben Compagnie gebaut werden, war Nollet, Professor der Physik an der Kriegsschule in Brüssel. Mit der Zeit wurde die Nollet'sche Maschine jedoch sehr modificirt und verbessert, einerseits durch Professor Masson, welcher unter Anderem auch den früher bei diesen Maschinen angewendeten Commutator fortliess, und andererseits durch Van Malderen, den Ingenieur der Compagnie »l'Alliance«.

Die Alliance-Maschine in ihrer heutigen Form (Fig. 17) ist auf die folgende Weise construirt:

Auf der Axe der Maschine sind mehrere Messingscheiben hinter einander befestigt, deren jede 16 in gleichem Abstande von einander angebrachte Inductorrollen trägt, und rotirt jede dieser Messingscheiben mit ihren Inductorrollen zwischen den Polen starker aus Stahlbündeln bestehender Magnete. Die Magnete sind strahlenförmig an den horizontalen Stäben des gusseisernen Gestelles befestigt und zwar so, dass immer je zwei entgegengesetzte Pole einander gegenüberstehen, und dass auch die Polarität aller in einer Linie

stehenden Magnete abwechselt. Durch diese Einrichtung kommt jede Inductorrolle bei der Drehung der Messingscheiben zwischen zwei ungleichnamige Pole zu stehen, und die Eisenkerne derselben verwandeln sich in starke Magnete, die in den Spiralen der Inductorrollen kräftige Ströme induciren. Diese Drahtspiralen sind so gewunden,


Fig. 17.



dass man dieselben als eine einzige grosse Spirale betrachten kann, deren eines Ende auf der Axe der Maschine befestigt ist, während das andere zu einem auf der Axe angebrachten, aber von derselben isolirten Ringe führt. Durch Federn, die auf dem Ringe und der Axe schleifen, werden die alternirenden Ströme, die in den Spiralen erzeugt werden, nach aussen geleitet.

Die Alliance-Maschinen tragen gewöhnlich 4 oder 6 der erwähnten Messingscheiben auf ihrer Axe und die Anzahl der Inductorrollen, welche nahe den Polen von 32, respective 48 Magneten rotiren, ist demnach 64 oder 96. Da nun bei jeder Umdrehung der Scheiben jede Seite der 16 auf ihnen befestigten Inductorrollen an je 16 Magnetpolen vorübergeht, so wechselt der Strom bei jeder Umdrehung sechzehnmal, und da in der Praxis bei der Anwendung einer Dampfmaschine von etwa 5 Pferdekräften im Durchschnitte 400 Umdrehungen der Maschinenaxe in der Minute stattfinden, so findet in jeder Secunde ein nahezu hundertmaliger Stromwechsel statt; die Intervalle zwischen den verschiedenen Strömen sind also so klein, dass sie kaum in Betracht kommen, und dass für bestimmte Zwecke die verschiedenen Ströme zusammen in derselben Weise wirken wie ein einziger Strom.

Was die Dimensionen und die Construction der einzelnen Theile der Alliance-Maschine betrifft, so dürften folgende von Graf du Moncel angegebene Daten von Interesse sein.

Von den Hufeisenmagneten, welche in der Fabrik von Alvarre verfertigt werden, wiegt ein jeder 20 Kgr. und besteht aus 5 oder 6, circa 1 Cm. dicken Stahllamellen, welche auf einander geschraubt sind. Um die Polstücke möglichst gleichmässig zu erhalten, werden an den Polenden weiche Eisenstücke an den Stahlmagneten befestigt. Die Magnetisirung der Stahlmagnete geschieht auf die gewöhnliche Art und ist jedes fertige Magnetbündel im Stande, sein dreifaches Gewicht zu tragen.

Die Spulen der Alliance-Maschine haben im Laufe der Zeit mannigfache Abänderungen erfahren. Gegenwärtig bestehen sie aus ihrer Länge nach gespaltenen Eisenröhren, welche in ebenfalls gespaltenen Messingcylindern stecken, auf denen die Drahtspiralen aufgewunden sind. Jede Spule ist 10 Cm. lang und hat einen Durchmesser von 4 Cm. Die Länge und der Querschnitt des aufgewundenen Drahtes richten sich nach dem Widerstande der äusseren Leitung und ebenso nach der Anzahl der Spulen und nach der Arbeit, welche von der Maschine verlangt wird.

In den Lichtmaschinen werden gewöhnlich Drahtbündel aus acht, circa 30 Mtr. langen und 1 Mm. dicken Drähten verwendet und sind diese Drähte mit Baumwolle umsponnen und, der besseren Isolation wegen, vor ihrem Gebrauch in eine Lösung von Harz in Terpentin getaucht. Eine derartige Lösung ist gut isolirend und vermehrt die Dicke der Drähte nur um ein Geringes.

Mit einer Alliance-Maschine dieser Construction, deren Axe 4 Kupferscheiben trägt, erhält man bei Anwendung einer Dampfmaschine von den angegebenen Pferdekräften ein elektrisches Kohlenlicht, welches dem Lichte von 150 Carcel'schen Brennern (1 Carcel'scher Brenner = 7 Normal-Paraffinkerzen) gleich ist, während mit einer Maschine, die 6 Kupferscheiben trägt, ein Licht von der Stärke von 200 Carcel'schen Brennern erzeugt werden kann.

Obgleich die Alliance-Maschinen, wie aus dem Obigen hervorgeht, gute Resultate geben und auf vielen Leuchtthürmen, so z. B. auf den Thürmen von Cap La Hêve nahe Havre, von Cap Griz-Nez bei Calais,

von Kronstadt, Odessa u. a. zur Erzeugung des elektrischen Lichtes verwendet werden, so werden dieselben dennoch in nur geringer Anzahl construirt, da ihre Construction sehr complicirt und mit hohen Kosten verbunden ist und da eben wegen ihrer complicirten Construction oft Störungen in der Function der Maschine eintreten.

Diejenige Maschine, welche von vielen Ingenieuren als die beste der Wechselstrom-Maschinen angesehen wird und in der That ausgezeichnete Resultate liefert, ist

die Maschine von de Méritens. Diese Maschine ist besonders in ihrer neuesten Form äusserlich der Alliance-Maschine sehr ähnlich, unterscheidet sich jedoch durch den eigenthümlich construirten Inductor bedeutend von derselben.

Die Armatur (der Inductor) besteht nämlich aus einem Rade mit 8 Speichen, auf dessen Kranz 16 Drahtspulen in der Weise befestigt sind, dass der Eisenkern der einen die Verlängerung des Eisenkernes der anderen bildet und alle Eisenkerne zusammen einen Ring darstellen, wie Figur 18 zeigt.

Die Eisenkerne dieser Spulen bestehen aus 50 1 Mm. dicken Eisenlamellen und haben an jedem Ende aus ähnlichen Lamellen bestehende eiserne Kopfansätze (Fig. 19). Die Kopfansätze der einen Spule sind mit denen der anderen Spule durch Kupferstücke vereinigt und die Drahtspiralen dieser Spulen sind alle in derselben Richtung um die Eisenkerne gewickelt und bilden eine einzige grosse Spirale, deren Enden zu zwei auf der Axe der Maschine befestigten,

aber von dieser und von einander isolirten K
führen, auf denen zwei Federn schleifen,
alternirenden Ströme nach aussen leiten.

Die 8 inducirenden Magnete, welch
äusseren Gestell befestigt sind (Fig. 18), b

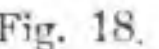
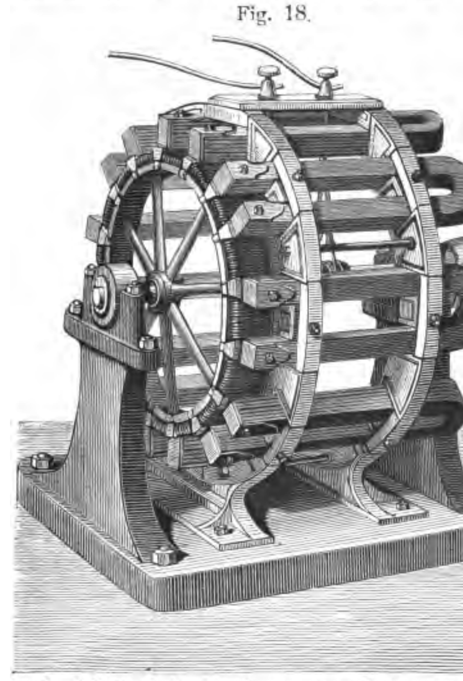


Fig. 18.

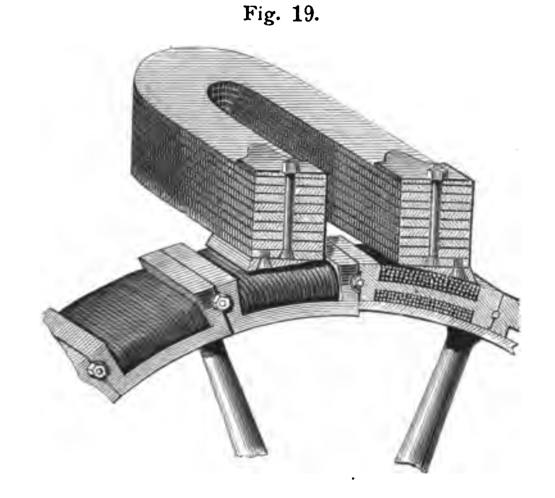


starken Stahlbündeln und tragen Polansätz
welche dazu dienen, die Armaturspulen mög
unter den Magnetpolen rotiren zu lassen, w
Stellung der Magnete zugleich eine solch
stets ungleichnamige Pole nebeneinander st
nun der Inductor in rotirende Bewegung

passiren die einzelnen Spulen dicht unter den Magnetpolen und dadurch, dass die weichen Eisenkerne sich in Magnete verwandeln, werden in den Spiralen alternirende Ströme erzeugt, die noch verstärkt werden durch die directe Einwirkung der Pole der Magnete auf die nahe bei ihnen vorbeilaufenden Drahtwindungen.

Gerade diese Disposition, welche die Drahtspiralen der Armatur selbst in das magnetische Feld der per-

Fig. 19.



manenten Magnete bringt, ist einer der Hauptvorzüge der de Méritens'schen Maschine. Ausserdem ist die Construction derselben insofern äusserst praktisch, als man die einzelnen Theile der Armatur im nothwendigen Falle leicht erneuern kann, ohne die anderen Theile zu derangiren, was bei vielen Maschinen absolut unmöglich ist.

Der Alliance-Maschine äusserlich sehr ähnlich ist auch

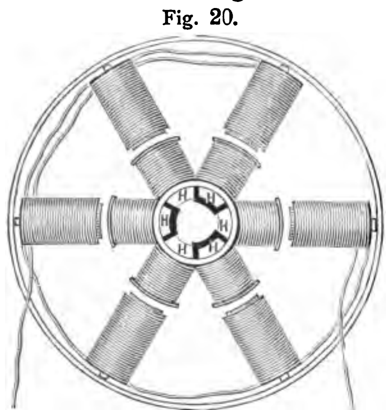
die Maschine von Holmes, deren Construction mit der Alliance-Maschine fast identisch ist; nur hat Holmes, welcher eine ganze Anzahl verschiedener Modelle construirte, in seinem letzten Modell die Stahlmagnete durch V-förmige Kerne aus weichem Eisen ersetzt, welche von Drahtspiralen umgeben sind und sich beim Gebrauche der Maschine in Elektromagnete verwandeln. Diese Kerne aus weichem Eisen sind auf einer Scheibe befestigt, welche sich vor einer anderen feststehenden Scheibe dreht, auf der die Armaturspulen angebracht sind, und sind die Spiralen der Armaturspulen nicht alle mit einander verbunden, sondern in Gruppen vereinigt, so dass die Maschine gleichzeitig mehrere Ströme liefert, von denen jeder einzelne benutzt werden kann, so dass durch eine Maschine z. B. gleichzeitig mehrere elektrische Lampen gespeist werden können.

Um die erzeugten Wechselströme gleichrichten zu können, ist die Maschine mit einem Commutator versehen.

Die Weston'sche Maschine, welche für galvanoplastische Zwecke bestimmt ist (die Weston'sche Lichtmaschine ist in Capitel II beschrieben), besteht aus einer eisernen Trommel, an deren innerer Seite 6 aus Gussstahl angefertigte Elektromagnete radienförmig befestigt sind und bis etwa in die Mitte der Trommel hineinragen, während 6 kleinere strahlenförmig auf der Axe befestigte Elektromagnete dicht unter den Polen der grösseren Magnete vorbeirotiren (Fig. 20). Diese kleineren Elektromagnete bilden die Armatur und sind die Spiralen von je 2 derselben zu einer einzigen Spirale vereinigt, so dass im Ganzen 3 Hufeisenmagnete

entstehen, in deren Spiralen alternirende Ströme inducirt werden, welche ein besonders eingerichteter Commutator addirt und gleichrichtet. Die Drahtwindungen der 6 inducirenden Magnete bilden ein Ganzes, doch sind die Drähte so aufgewickelt, dass stets ungleichnamige Pole neben einander entstehen. Zur Magnetisirung dieser Elektromagnete werden durch ihre Spiralen, nach dem dynamoelektrischen Principe, die durch den Inductor erzeugten Ströme geleitet.

Fig. 20.




Um die Spiralen der Elektromagnete vor Ueberhitzung zu schützen, sind die Eisenkerne hohl und mit einer Wasserleitung verbunden.

Der Commutator der Weston'schen Maschine, durch welchen die in den Armaturspiralen inducirten Wechselströme gleichgerichtet werden, besteht aus einem auf der Axe befestigten breiten Stirnrade, welches mit 3 Ausschnitten versehen ist, so dass 3 Zähne entstehen und in die Lücken zwischen dieselben sind 3 miteinander leitend verbundene, jedoch von dem Rade isolirte Metallplättchen eingefügt. Drei gleichnamige Enddrähte der Armatur stehen mit den Zähnen in leitender Verbindung, während die drei andern mit den Metallplättchen verbunden sind. Da nun stets eines der Metallplättchen einem Zahne des Rades diametral gegenübersteht, so

braucht man nur zwei Federn direct einander gegenüber auf dem Commutator schleifen zu lassen, um die Ströme zu sammeln, und werden alsdann die Ströme gleichgerichtet werden, da die Metallplättchen abwechselnd mit der einen und dann mit der andern Feder in Verbindung sind und folglich die mit ihnen verbundenen Enddrähte die Ströme abwechselnd erst in der einen und dann in der andern Richtung durch die mit den Schleiffedern verbundenen Leitungsdrähte senden.

Da die beschriebene Weston'sche Maschine hauptsächlich für galvanoplastische Zwecke angewendet wird, ist dieselbe mit einem sogenannten Strombrecher versehen, welcher dazu dient, den Strom der Maschine im Nothfall sofort unterbrechen zu können, so dass z. B. ein durch die Polarisation der Elektroden im galvanischen Bade entstehender Strom, wenn die Maschine langsamer geht oder stille steht, nicht in die Spiralen der Elektromagnete gelangen kann, wodurch die Polarität der Magnete unter Umständen wechseln würde und wodurch in dem Inductor Ströme entständen, deren Wirkung den galvanischen Niederschlag wieder aufzulösen im Stande wäre.

Dieser Stromunterbrecher ist unter den Hilfsapparaten in Capitel IV beschrieben.

Vervollkommnet wurde die Weston'sche Maschine durch H. G. Möhring in Frankfurt a. M. und Gustav Baur in Stuttgart.

Die dynamoelektrische Maschine von Möhring und Baur enthält ebenfalls 6 inducirende Elektromagnete und eine aus 6 Elektromagneten bestehende Armatur, jedoch sind die Magnete an der Innenseite des Deckels eines Cylinders angebracht und

können die Armaturmagnete durch eine Schraubenvorrichtung den inducirenden Magneten genähert werden, wodurch jederzeit eine Regulirung der Maschine möglich wird.

Ausserdem bilden die Spiralen der inducirenden Magnete nicht wie in der Weston'schen Maschine eine einzige Spirale, sondern jede einzelne der die inducirenden Magnete umgebenden Spiralen ist von den übrigen völlig abgesondert. Die in den Windungen der Armaturmagnete inducirten Ströme werden, nachdem sie den Commutator verlassen haben, zu einem isolirten Bolzen geführt, von wo sie in die 6 Anfangsdrähte der Spiralen der inducirenden Magnete eintreten, umkreisen dann die Eisenkerne derselben, die sich wie in der Weston'schen Maschine in starke Magnete — doch so, dass die Polarität von je 2 nebeneinanderstehenden Magneten verschieden ist — verwandeln, und gehen endlich durch die 6 Enddrähte der Spiralen zu einem zweiten Bolzen, von wo sie in die äussere Leitung fliessen. Auch können im gewünschten Falle die Ströme erst einzeln in verschiedene Leitungen geführt und dann wieder vereinigt werden.

Diese Maschine ist ebenfalls, da sie zum Gebrauche für galvanoplastische Niederschläge bestimmt ist, mit einem Stromunterbrecher verbunden.

Die Maschine für Wechselströme von Lontin ähnelt in dem Arrangement ihrer einzelnen Theile der Weston'schen Maschine, nur sind die inducirenden Magnete, 24 an der Zahl, auf einem auf der Axe befindlichen Radkranze befestigt und rotiren vor den

24 Armaturmagneten, die — gerade wie die inducirenden Magnete der Weston'schen Maschine — auf der Innenseite des trommelartigen Gerüstes radial nach dem Centrum zu convergiren. Die Drahtspiralen der inducirenden Elektromagnete bilden eine zusammenhängende Windung, und stehen ebenso wie in den vorher beschriebenen Maschinen stets ungleichnamige Pole neben einander. Der Strom zur Magnetisirung der Magnete wird von einer separaten Lontin'schen Maschine für continuirliche Ströme (s. Cap. II) geliefert, deren Sternrad auf der Hauptaxe der Maschine befestigt ist; doch kann auch die Hilfsmaschine in ihrer Bewegung von der Wechselstrom-Maschine getrennt sein. Die Spiralen der Inductorrollen sind je zwei und zwei mit einander so verbunden, dass ihre Kerne zusammen Hufeisenmagnete bilden, und führt der eine ihrer Enddrähte jedesmal nach einer auf der rechten Seite der Maschine befindlichen Klemmschraube, während der andere zu einer Klemmschraube auf der linken Seite führt. Von den verschiedenen Klemmschrauben zu beiden Seiten der Maschine zweigen Leitungsdrähte ab, in welche die Maschine bei jeder Umdrehung 12 Wechselströme sendet, die durch eine sehr einfache Schaltvorrichtung entweder auf Quantität oder Spannung gekoppelt werden, oder in kleineren Gruppen vereinigt werden können.

Der besondere Vorzug, den diese Maschine vor den vorherbeschriebenen hat, ist der, dass bei derselben zur Ableitung der Ströme weder ein Commutator, noch auch federnde Bürsten nothwendig sind, zwei Theile, die sich meistens sehr schnell abnützen,

da die überspringenden Funken diese Metalltheile bei starken Strömen entweder bald verbrennen oder stark oxydiren. Mit einzelnen der vorherbeschriebenen Maschinen hat diese Maschine auch den Vorzug gemeinsam, dass man separate Theile derselben im Nothfalle leicht ersetzen kann, ohne dass eine Demontirung der Maschine nothwendig wird.

Die Lontin'sche Maschine liefert bei einer Rotations-Geschwindigkeit von 320 Touren in der Minute 12 Ströme, deren jeder ein elektrisches Licht von der Stärke von 100 Carcelbrennern erzeugt.

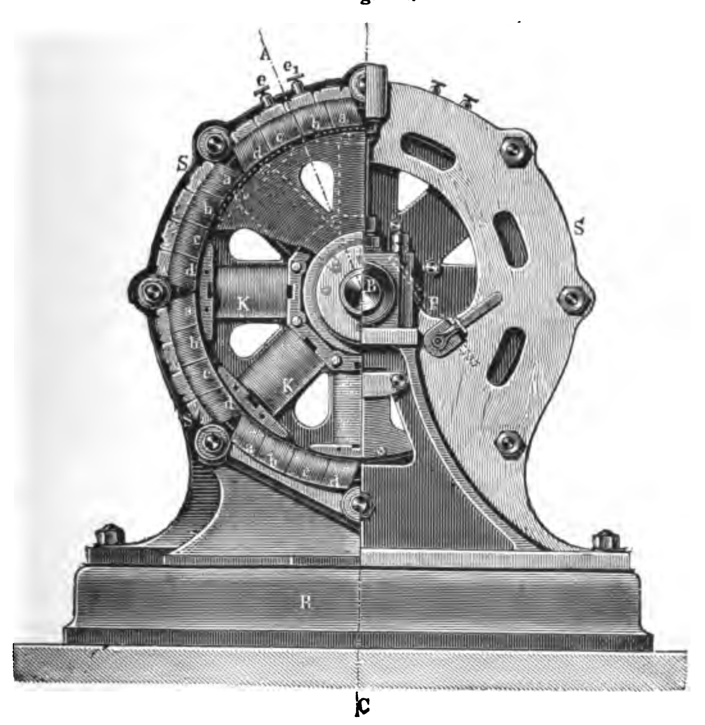
Eine sehr wirksame Wechselstrom-Maschine wurde auch von dem Erfinder der bekannten Maschinen für continuirliche Ströme, Herrn Gramme, construirt, in der Absicht, einen passenden Motor für die Jablochkoff-schen Kerzen zu liefern.

Die Gramme'sche Maschine für Wechselströme ist in der folgenden Weise construirt. Auf einer Stahlaxe *F* (Fig. 21 und 22) sind vermittelst zweier gusseiserner Kränze *H* und eines achtseitigen gusseisernen Stabes *G* acht mit Polstücken versehene Elektromagnete *KK* befestigt, deren Spiralen in dem alten Modell der Maschine ihren Strom vermittelst zweier auf zwei isolirten Ringen schleifenden Bürsten von einer kleinen Extramaschine erhielten, während in dem neuesten Modell dieser Strom durch einen Gramme'schen Ring-Inductor erzeugt wird, welcher auf der Hauptaxe der Maschine befestigt ist und in diesem Falle dem Einflusse von zweien der Elektromagnete ausgesetzt ist.

Die Armatur (Inductor) der Gramme'schen Wechselstrom-Maschine besteht au' einem breiten Ringe

aus weichem Eisen und sind auf demselben 32 von einander vollständig separirte Drahtspulen aufgerollt, deren Windungen parallel zur Drehungsaxe laufen. Diese Spulen sind in 8 Gruppen eingetheilt, von denen jede zu

Fig. 21.




gewissen Perioden der Umdrehung einem der Magnetpole gegenübersteht, deren Polarität von einem zum andern wechselt. Steht demnach die eine Spulengruppe der Armatur einem Nordpole gegenüber, so befinden sich die zu beiden Seiten liegenden Gruppen einem

Südpole gegenüber und *vice versa,* und ausserdem ist die Stellung der Spulen den Magnetpolen gegenüber eine so symmetrische, dass, wenn die inducirenden Magnete an ihnen vorbei passiren, in allen Spulen *a* Ströme von gleicher Stärke inducirt werden, dass die in der Spulen *b* inducirten Ströme an Stärke unter einander gleich sind und dass die Stärke der Ströme, die in den Spulen *c* und *d* erzeugt werden, eine correspondirende ist. Wenn man wünscht, dass auch die Richtung des Stromes in allen gleichnamigen Spulen dieselbe sei, so braucht man nur diejenigen Spulen, welche bei der Rotation ungleichnamigen Polen gegenüber zu stehen kommen, so zu winden, dass die Richtung ihrer Windungen entgegengesetzt ist. Da die Enddrähte der einzelnen Spulen zu separaten auf dem Gestelle der Maschine angebrachten Klemmschrauben führen, so kann man von der Maschine bei jeder Umdrehung 32 alternirende Einzelströme ableiten oder die Ströme ganz nach Belieben auf Quantität oder auf Spannung koppeln.

Das Gerüst der Maschine besteht aus einer vorderen und hinteren, gusseisernen, nahezu kreisförmigen Wand *D*, welche auf einem gusseisernen Sockel *R* befestigt sind und deren Festigkeit durch 8 Messingstangen *E* und einen Eisenträger *U* erhöht wird. Zum Schutze der Elektromagnetspulen gegen die Centrifugalkraft sind an denselben zwei dünne Scheiben *T* angebracht, die fest mit der Axe in Verbindung stehen. Gramme construirt drei verschiedene Grössen von Wechselstrom-Maschinen dieses älteren Systems.

Die soeben beschriebene Maschine liefert den Strom für 16 Jablochkoff'sche Kerzen und erfordert

zu ihrem Betriebe 16 Pferdekräfte. Ihr Preis nebst der zum Betriebe nothwendigen kleinen Extramaschine zur Magnetisirung der inducirenden Magnete ist 10.000 Fr. Die Länge der Maschine mit der Riemenscheibe ist 89 Cm., ihre Breite 76 Cm. und ihre Höhe 78 Cm. Der von ihr eingenommene Raum beträgt $^1/_2$ Kbm. und ihr

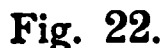


Fig. 22.

Gewicht 650 Kg., von welchem Gewicht 103 Kg. auf den in der Maschine angewendeten Kupferdraht kommen. Die Maximalgeschwindigkeit der Rotation beträgt 600 Touren in der Minute.

Die zweite Grösse ist für 6 Jablochkoff-Kerzen bestimmt, kostet mit Extramaschine 5000 Fr., erfordert 6 Pferdekräfte zu ihrem Betriebe, ist 70 Cm. lang,

40 Cm. breit, 52 Cm. hoch und nimmt einen Raum von 0·15 Kbm. ein. Ihr Gewicht beträgt 280 Kg., wovon gegen 40 Kg. auf den Kupferdraht kommen, und das Maximum der Rotations-Geschwindigkeit beträgt 700 Touren in der Minute.

Die dritte Grösse speist 4 Jablochkoff'sche Kerzen, erfordert nur 4 Pferdekräfte und kostet mit Extramaschine 3500 Fr., hat eine Länge von 55 Cm., eine Breite von 40 Cm., eine Höhe von 48 Cm. und nimmt einen Raum von 0·18 Kbm. ein. Ihr Gewicht beträgt 190 Kg., wovon 28 Kg. auf den Kupferdraht kommen, und ihre Rotations-Geschwindigkeit ist 800 Touren in der Minute.

Das neueste Modell der Gramme'schen Maschine für Wechselströme enthält, wie bereits erwähnt, die Maschine zur Magnetisirung der inducirenden Magnete in sich selbst. Gramme hat diese Veränderung vorgenommen, da in den oben beschriebenen Maschinen die Transmission schwierig war, und dadurch oft eine Störung in der Gleichmässigkeit des erzeugten Lichtes eintrat.

In dem neuesten Modell ist ein Gramme'scher Ring-Inductor (siehe Cap. II) auf der Axe der Maschine befestigt und 2 der 8 inducirenden Magnete sind radial gegen diesen Ring aufgestellt und mit Armaturen versehen, die in dem Ring 2 verschiebbare Pole (siehe Pacinotti-Ring) erzeugen. Der in den Spiralen des Ringes erzeugte Strom wird dann durch einen Kupferdraht geleitet, den man nach Belieben durch einen anderen von verschiedenem Querschnitt und verschiedener Länge ersetzen kann, wenn es sich darum handelt,

die Stromstärke in den beiden Maschinen zu modificiren, und gelangt darauf, wie in dem alten Modell, zu 2 auf der Axe befestigten und von derselben und untereinander isolirten Ringscheiben, von welchen zwei schleifende Federn ihn in die Spiralen der inducirenden Magnete leiten.

Von diesem Modelle werden zwei Grössen gebaut.

Die grösseren Maschinen dieser Art haben ein Gewicht von 470 Kg. und liefern den Strom für 24 Kerzen, deren jede eine Lichtstärke von 20 bis 30, oder 16 Kerzen, deren jede eine Lichtstärke von 40 bis 50 Carcel'schen Brennern hat, während die kleineren 280 Kg. wiegen und 12 Kerzen mit einer Lichtstärke von 20 bis 30 Carcel'schen Brennern oder 8 Kerzen mit einer Lichtstärke von 40 bis 50 Carcel'schen Brennern speisen.

Alle mit den neuen Maschinen angestellten Versuche zeigten, dass dieselben besonders zur Erzeugung eines gleichmässigen und ruhigen Lichtes den Maschinen des älteren Systems vorzuziehen sind. Geradeso wie Gramme construirt auch die Firma Siemens & Halske Maschinen für Wechselströme; diese

Siemens-Halske'schen Maschinen für Wechselströme sind ebenfalls mit der Zeit in ihrer Construction etwas modificirt worden, doch wurde das Grundprincip derselben nicht verändert.

Die Construction des neuesten Modells derselben ist die folgende:

Auf einer Basis sind die gusseisernen Seitenwände befestigt, welche oben durch eine Stange zusammengehalten werden. Jede dieser Seitenwände

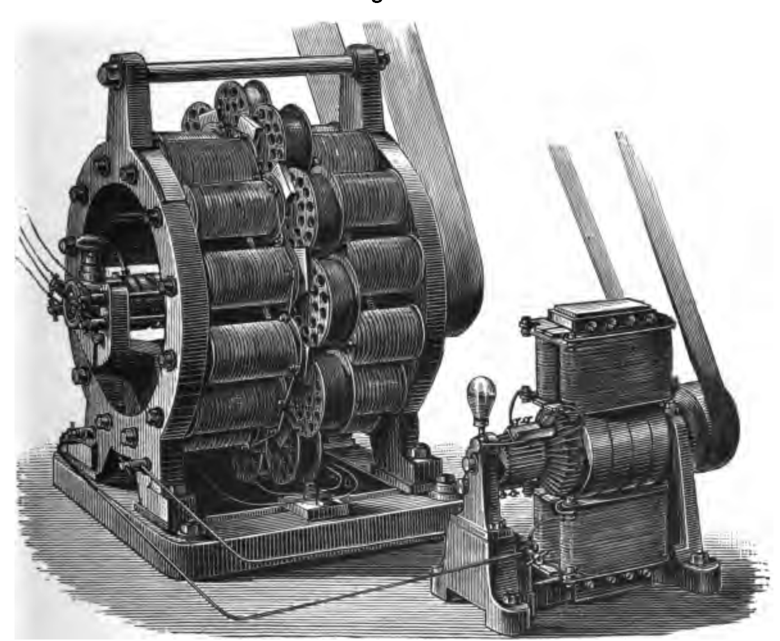
trägt auf ihrer Innenseite 12 horizontale Elektromagnete, die den magnetisirenden Strom von einer kleinen Siemens'schen Extramaschine für continuirliche Ströme erhalten, und werden die Eisenkerne durch diesen Strom so magnetisirt, dass die Polarität der nebeneinander-, ebenso wie die der einander gegenüberliegenden Magnete entgegengesetzt ist. Die hervorragenden Enden der Eisenkerne der Elektromagnete sind mit aus flachen Eisenstücken bestehenden Polschuhen versehen, die dazu dienen, den auf die Inductorrollen ausgeübten inducirenden Einfluss zu verstärken.

Die Armaturspulen sind in dem älteren Modelle ähnlich wie in der vorher beschriebenen Gramme'schen Maschine auf einen Eisenring aufgewunden, während in der in Figur 23 abgebildeten neuen Maschine dieselben auf dem Kranze eines Rades befestigt sind und keine Eisen-, sondern zum Zwecke der Ventilation mit Oeffnungen versehene Holzkerne enthalten. Dieses giebt der Maschine insofern einen bedeutenden Vorzug vor den vorher beschriebenen Maschinen, als ein Polwechsel in den beweglichen Eisentheilen der Maschine nicht stattfindet und die damit verbundenen Erhitzungen und Arbeitsverluste vermieden werden. Ein anderer Vorzug der Maschine ist die Disposition der einzelnen Theile, durch welche es möglich wird, die Drahtwindungen durch magnetische Felder von hoher Intensität rotiren zu lassen, welche durch die einander gegenüberstehenden starken Elektromagnete gebildet werden.

Die Anzahl der Armaturspulen und der durch je 2 einander gegenüberstehende ungleichnamige Pole der inducirenden Magnete gebildeten magnetischen Felder

ist gleich gross und die Windungsweise der Spiralen wechselt von Spule zu Spule. Bezeichnet man nun alle Spulen, in denen die Spiralen in der einen Richtung gewunden sind, mit *a* und die, in denen die Spiralen in der entgegengesetzten Richtung gewunden sind, mit *b*, so

Fig. 23.



werden in einem gegebenen Moment während der Rotation des Inductors abwechselnd alle Spulen *a* an der vorderen Seite der Maschine den Nordpolen und alle Spulen *b* den Südpolen gegenüberstehen, und gleich darauf werden die Spulen *a* auf derselben Seite den Südpolen und die Spulen *b* den Nordpolen gegenüberstehen;

der Strom wird demnach bei jedem Wechsel der Stellung der Spulen ebenfalls wechseln, es wird also die Anzahl der erzeugten Wechselströme gleich der Anzahl der Armaturspulen oder der magnetischen Felder sein. Die in den Armaturspulen inducirten Wechselströme werden zu den auf der Axe angebrachten und von derselben und untereinander isolirten Contactringen geleitet und von dort durch Schleiffedern, mit denen die Leitungsdrähte verbunden sind, nach aussen geführt.

Die soeben beschriebene Maschine zeichnet sich durch solide Construction und leichte Zugänglichkeit ihrer einzelnen Theile aus und hat wie gesagt den Vorzug, dass, da in den Armaturspiralen keine Eisenkerne vorhanden sind, ein Polwechsel in der Maschine vermieden wird und fast gar keine Erhitzung der Drähte stattfindet.

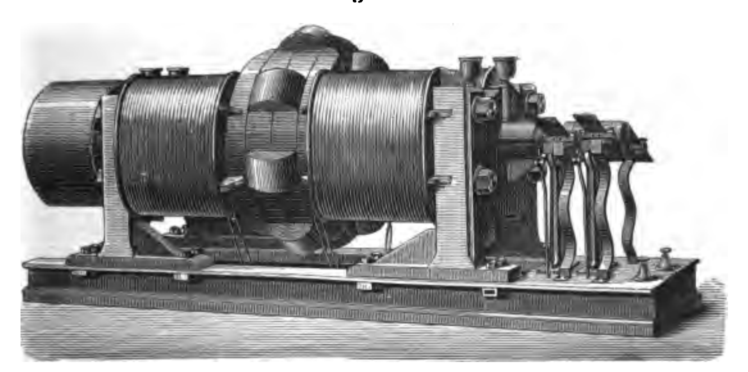
Für die elektrische Beleuchtung leistet die Siemens'sche Maschine für Wechselströme sehr gute Dienste und besonders hat sie sich bewährt in Verbindung mit den Hefner-Alteneck'schen Differentiallampen.

Vielleicht die originellste und jedenfalls die leistungsfähigste aller Maschinen, welche ursprünglich Wechselströme erzeugen, ist

die Maschine von Brush, Fig. 24, 25, 26. Die Armatur der Maschine ist in ihrer äusseren Form dem Pacinotti'schen Ringe ausserordentlich ähnlich, jedoch ist die Verbindung der Drahtspiralen eine ganz verschiedene. Der gusseiserne Kern der Armatur enthält, wie Fig. 25 zeigt, erstens eine ihn beinahe vollständig durchschneidende, in verticaler Richtung laufende Rinne und ausserdem ist derselbe auf beiden Seiten mit tiefen

Einschnitten von rechteckigem Querschnitt versehen, die zum Aufnehmen der Spiralen dienen. Die auf diese Weise entstehenden Zähne sind dann wiederum durch drei tiefe, in horizontaler Richtung laufende Rinnen gespalten, und dienen diese Furchungen der soliden Eisenmasse des Armaturkernes einerseits dazu, das Auftreten von störenden Inductionsströmen im Ringe und die durch dieselben hervorgerufene Schwächung des Stromes und Erhitzung des Eisens zu verhindern; andererseits

Fig. 24.



wird durch dieselben eine Ventilation hervorgerufen, die dazu dient, die Drahtspiralen während der Rotation der Armatur abzukühlen.

Die Drahtspulen, deren in der abgebildeten sogenannten »Sechzehnlichter-Maschine« acht vorhanden sind, füllen die rechteckigen Einschnitte des Eisenkernes vollständig aus, und sind die Anfangsdrähte von je zwei einander diametral gegenüberliegenden Spulen mit einander verbunden, während die Enddrähte nach einem der vier Commutator-Ringe geführt werden, wo sie an zwei

von einander isolirten Segmenten befestigt sind. Von diesen Segmenten wird der Strom der beiden Spulen durch tangential schleifende Bürsten abgeleitet, die aus geschlitzten Kupferblechstücken bestehen.

Der aus vier Kupferringen bestehende Commutator ist sehr verschieden von allen vorher erwähnten Commutatoren und ist unstreitig einer der interessantesten Theile der Brush'schen Maschine.

Die Construction eines Commutator-Ringes ist in

Fig. 25. Fig. 26.

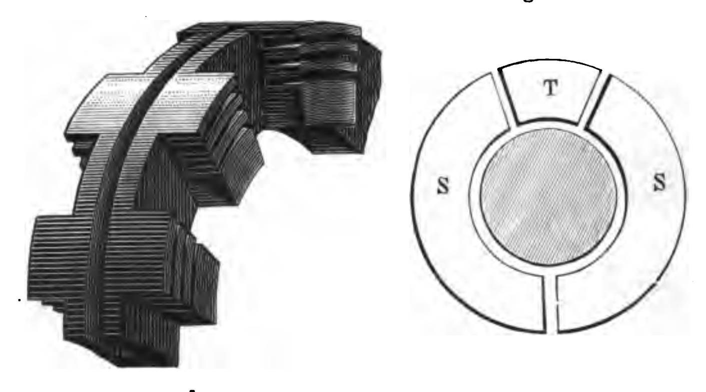



Fig. 26 skizzirt. Jeder Ring besteht aus zwei Segmenten *SS*, die an einer Stelle nahe aneinander treten und dortselbst durch einen kleinen Luftraum isolirt sind, während zwischen den beiden anderen Enden ein von ihnen isolirtes einer $^1/_8$ Umdrehung entsprechendes Metallstück **T** sich befindet, welches der »Isolator« genannt wird und dazu dient, dasjenige Spulenpaar, dessen Spulen sich gerade während der Drehung der Armatur in der neutralen Stellung befinden, aus dem Stromkreise auszuschliessen. In dem Augenblicke nämlich, in welchem

die Spulen in die erwähnte Stellung treten, schleift eine der Bürsten auf dem Isolator und das Spulenpaar ist so nicht nur aus dem Hauptstromkreise ausgeschlossen, sondern, was weit wichtiger ist, es kann auch kein Strom in seinen Spiralen circuliren, da die Drähte derselben in jenem Momente durch den Isolator getrennt sind und also kein Schliessungsbogen vorhanden ist.

Die vier Bürsten, von denen eine jede auf je zweien der Commutator-Ringe schleift, sind an Hebeln concentrisch um die Maschinenaxe verschiebbar, um eine zweckmässige Einstellung derselben zu jeder Zeit zu ermöglichen, und werden mittelst starker Klemmen an die Commutator-Ringe angedrückt. Die von den Bürsten abführenden Leitungen bestehen aus starken, wellenförmig gebogenen Kupferstreifen.

Die oben beschriebene Armatur, deren Spiralen durch halbcylinderförmige Keile (ähnlich wie die Holzkeile beim Pacinotti-Ringe) getrennt sind, rotirt äusserst dicht zwischen zwei kräftigen horizontalen Hufeisenmagneten, deren Eisenkerne etwas flach gedrückt sind und die einander gleiche Pole zukehren. Um die Maschinenaxe gegen Verschiebungen in ihrer Längenrichtung zu schützen, sind ihre sehr langen Lager als Kammlager ausgeführt, ähnlich wie dieses bei Wellen von Schraubendampfern üblich ist. Die ringförmigen Polschuhe üben auf die ganze Armatur, mit Ausnahme der in der neutralen Stellung befindlichen Spulen, eine äusserst starke inducirende Wirkung aus; diese letzteren sind nämlich vor der inducirenden Einwirkung der Magnete dadurch geschützt, dass ihnen gegenüber die Polschuhe mit Ausschnitten versehen sind.

Die Schaltung der inducirenden Magnete ist, wie Brush in einer in Amerika gehaltenen Vorlesung angiebt, eine solche, dass der von jedem Spulenpaar erzeugte Strom abwechselnd durch die Elektromagnetschenkel und durch den äusseren Stromkreis geleitet wird, so dass jedes Spulenpaar bei einer Umdrehung einmal die Magnete mit Strom versieht und einmal die Lampen speist, und dass bei einer gegebenen Stellung des Ringes die einen ihren Strom durch die Magnetspiralen senden und die andern mit dem äusseren Stromkreise in Verbindung stehen, während bei der nächsten Achteldrehung des Ringes diejenigen Spulen, welche mit den Magnetspiralen in Verbindung waren, ihren Strom in die Leitung senden und *vice versa*.

Nach der Vorlesung von Brush hat die Armatur der mit Nr. 7 bezeichneten »Sechzehnlichter-Maschine« einen Widerstand von etwa vier Ohms und ist bei einer Rotations-Geschwindigkeit von 750 Touren per Minute im Stande 16 bis 18 Lichter zu speisen, von denen jedes einen Flammenbogen von etwa 2 Mm. und einen Widerstand von etwa $4^1/_2$ Ohms hat, so dass die Maschine einen Strom erzeugt, welcher einen äusseren Widerstand (die Elektromagnete mit eingeschlossen) von etwa 80 Ohms zu überwinden im Stande ist, d. h. einen Widerstand, der nahezu zwanzigmal so gross ist, wie der Widerstand der Armatur.

Es ist vor Kurzem auch noch eine weit grössere Brush'sche Maschine construirt worden, welche für 40 Lichter bestimmt ist und nach den Angaben von Brush bei einem Betriebsaufwande von 36 Pferdekräften einen Strom von einer elektromotorischen Kraft von

2200 Volts und einer Stärke von 10 Ampères zu liefern im Stande ist.

Für die in Fig. 24 abgebildete »Sechzehnlichter-Maschine« giebt der »Engineering« 1881, Bd. 31, S. 55 ff. folgende Daten:

Durchmesser des Ringes 20 Zoll engl.; Draht auf den 8 Spulen Nr. 14 B. W. G. (= 2·15 Mm. Durchmesser); Gewicht des Drahtes auf einer Spule etwa 20 Pfund engl. (= 9·1 Kgr.); Länge des Drahtes auf einer Spule etwa 900 Fuss engl. (= 275 Mtr.); Widerstand der vier Elektromagnetschenkel 6 Ohm; Widerstand der Maschine von Klemme zu Klemme 10·55 Ohm.

Beim Betriebe von 16 Lichtern machte die Maschine 770 Umdrehungen per Minute und es war die verbrauchte Betriebskraft 15·5 Pfdkft., die elektromotorische Kraft 839 Volts, die Stromstärke 10 Ampères und der Widerstand einer Lampe 4·5 Ohms.

---

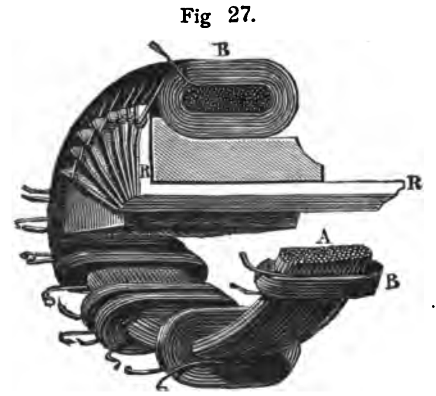
## II.

## Maschinen, welche Ströme von gleicher Richtung erzeugen.

Die Grundlage für die Construction aller Maschinen zur Erzeugung von gleichgerichteten Strömen bildet der Pacinotti'sche Ring-Inductor, welcher durch die Vereinigung mit dem äusserst geschickt construirten Collector Gramme's erst seine volle Bedeutung erhielt.

Zenobe Theophile Gramme, dessen Wechselstrom-Maschine im vorigen Capitel beschrieben wurde, war früher einer der Arbeiter in der Compagnie »l'Alliance« und hatte selbstständig im Jahre 1871, ohne von den Arbeiten Pacinotti's gehört zu haben, einen Ring-Inductor construirt, welcher im Princip mit dem von Pacinotti erfundenen Ring-Inductor vollständig übereinstimmte; nur zeichnete er sich vor dem letzteren dadurch aus, dass der Collector (von Pacinotti unrichtig Commutator genannt) in die Mitte des Ringes verlegt und in einer Weise construirt war, welche die Solidität des Ring-Inductors bedeutend erhöhte und allein es möglich machte, diese Form der Armatur in so ausgedehnter Weise in der Praxis zu verwenden, wie dieses seither geschehen ist.

Fig 27.




Die Gramme'sche Armatur und ihr Collector sind in der folgenden Weise construirt:

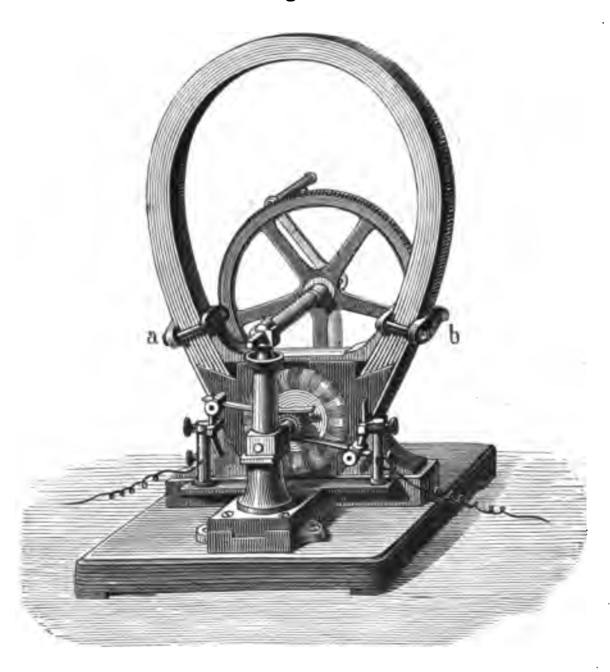
Der Kern des Ringes besteht, um die störenden Peripherieströme zu vermeiden, aus geglühten Eisendrähten und das um ihn gewundene Drahtsystem wird wie bei dem Pacinotti'schen Ringe aus verschiedenen Gruppen von Spiralen (Spulen) gebildet; nur sind dieselben nicht durch hervorragende Eisenzähne von ein-

ander getrennt, sondern sie stossen dicht aneinander. Der Anfangsdraht jeder Spule ist mit dem Enddrahte der benachbarten Spule zusammengelöthet und bilden demnach alle Spulen des Ringes, deren Zahl in verschiedenen Maschinen verschieden ist und deren jede aus 300 und mehr Windungen besteht, zusammen eine einzige ununterbrochene Leitung. Die Löthstellen liegen wie Figur 27 zeigt, alle auf einer Seite des Ringes und sind an rechtwinklig gebogenen Kupferstreifen befestigt, deren einer Arm mit der schmalen Seite sich radienförmig an den Holzring *H* anlegt, während der andere Arm in der Oeffnung dieses Ringes parallel zur Axe läuft und auf der andern Seite des Ringes 3—4 Cm. hervorragt. Diese Kupferstreifen (Strahlstücke), deren ebenso viele vorhanden sind wie Spulen, sind von einander durch eine isolirende Masse getrennt und die horizontalen Arme derselben bilden einen hohlen Cylinder (vgl. Fig. 29), durch welchen die Axe geht und auf welchem zwei federnde aus feinen Kupferdrähten bestehende Bürsten schleifen, die jedesmal mit denjenigen Strahlstücken in Verbindung sind, welche zu jenen Löthstellen führen, die sich in den neutralen Punkten $p$ $p'$ (Fig. 8) befinden, d. h. in denjenigen Punkten, durch deren Vereinigung die beiden in dem Drahtsysteme entstehenden Summenströme gleichgerichtet werden können. Es fliessen also durch die beiden federnden Bürsten jedesmal, wenn dieselben in Berührung mit den betreffenden Collectorstücken sind, Ströme von gleicher Richtung in die Leitung.

Gramme construirt seine Ringinductor-Maschinen in sehr verschiedenen Grössen und mit mancherlei

Modificationen der einzelnen Theile. Einige derselben sind für den Hand- oder Fussbetrieb eingerichtet und dienen nur für Laboratoriumszwecke, oder für kleine Arbeitsleistungen, während andere für den Dampfbetrieb arrangirt sind und je nach dem Zwecke ihrer Verwen-

Fig. 28.




dung mehr oder weniger in der Construction von einander abweichen. Da jedoch das herrschende Princip in allen diesen Maschinen dasselbe ist, so wird es genügen, einige der gebräuchlichsten und zweckmässigsten Typen kurz zu beschreiben.

Unter den Maschinen, die zum Gebrauche in physikalischen Laboratorien bestimmt sind, zeichnet sich besonders die in Figur 28 abgebildete Form aus, welche von der berühmten Firma Breguet in Paris construirt wird. Diese Maschine ist eine magnetelektrische Maschine, deren inducirender Magnet ein sogenannter Blättermagnet (aimant feuilleté) ist, der aus verschiedenen Stahllamellen besteht, die durch zwei Klemmen zusammengehalten werden, an ihren Polenden dagegen etwas von einander stehen und mit massiven Polschuhen *p p* versehen sind, welche den zwischen ihnen rotirenden Ring-Inductor nahezu umfassen. Der bekannte französische Physiker Jamin, dem die Construction dieses Magnets zuzuschreiben ist, nennt einen solchen Magnet einen Normalmagnet, da in ihm das Maximum des Magnetismus der angewandten Stahllamellen erreicht ist, und besitzt derselbe eine weit grössere Tragkraft als aus einfachen Stahlbündeln bestehende Magnete gleicher Grösse.

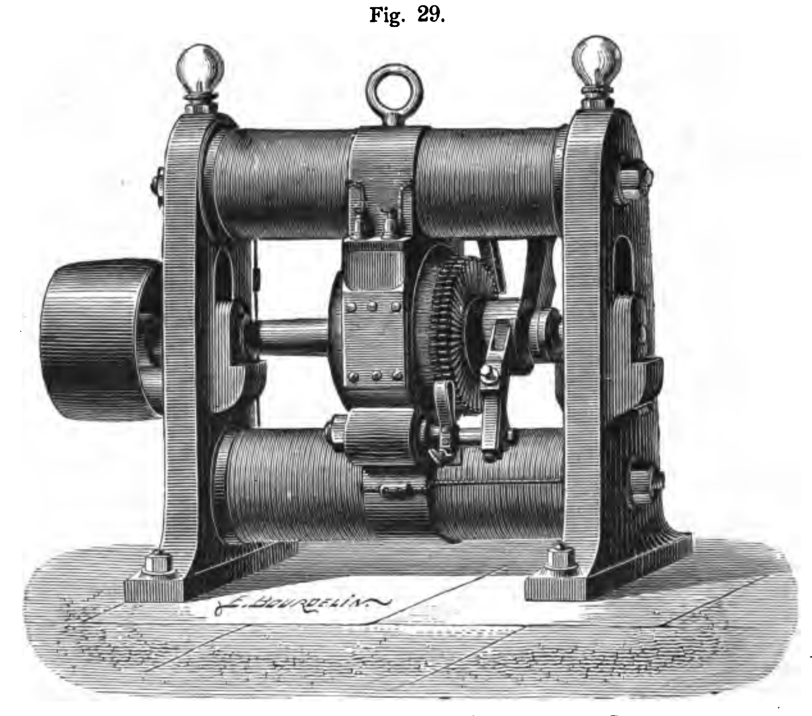
Die von Breguet construirten Gramme'schen Maschinen mit Blättermagnet liefern einen Strom, welcher dem von 8 Bunsen'schen Elementen von normaler Grösse gleich ist.

Von den Gramme'schen grossen Maschinen verdienen hauptsächlich die Lichtmaschinen Erwähnung, von denen eine Form in Figur 29 abgebildet ist.

Das Gerüst dieser Maschinen besteht aus zwei eisernen Seitenwänden, die durch zwei starke cylindrische Querstücke aus weichem Eisen oben und unten zusammengehalten werden. Diese Querstücke werden in tripolare Magnete verwandelt, sobald der in dem

Ring-Inductor inducirte Strom durch die sie umgebenden Spiralen circulirt, und zwar sind die Spiralen so gewunden, dass alle gegenüberstehenden Pole der beiden tripolaren Magnete einander entgegengesetzt sind.

Fig. 29.

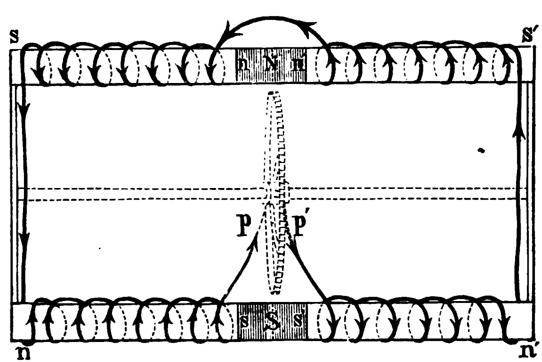


Dieses wird, wenn man die Richtung des Stromes in Figur 30 betrachtet, leicht klar werden.

Wenn der in den Spiralen des Ring-Inductors erzeugte Strom bei $p'$ in die Spiralen des unteren inducirenden tripolaren Elektromagnets eintritt und denselben in der Richtung der Pfeile umkreist, so entsteht in der rechten

Hälfte des unteren Magnets bei *s'* ein Südpol und bei *n'* ein Nordpol; verfolgt man die Richtung des Stromes weiter, so sieht man, dass in der rechten Hälfte des oberen tripolaren Magnets *s'* ein Südpol und *n'* ein Nordpol erzeugt wird. In der linken Hälfte des oberen Magnets wird wiederum *n* ein Nordpol und *s* ein Südpol und in der linken Hälfte des unteren Magnets entsteht bei *n* ebenfalls ein Nordpol und bei *s* ein Südpol. Man sieht also, dass in der Mitte des oberen tripolaren

Fig. 30.




Magnets ein aus den Theilen *n n'* bestehender Nordpol *N* und in der Mitte des unteren tripolaren Magnets ein aus den Theilen *s s'* bestehender Südpol *S* entsteht. Dieses ist der Vorgang in den Elektromagnetkernen der in Figur 29 abgebildeten Gramme'schen Maschine, und um die in der Mitte derselben gebildeten Doppelpole besser ausnützen zu können, sind dieselben mit starken Polschuhen aus weichem Eisen versehen, welche den Inductorring fast ganz umschliessen, der auf die früher beschriebene Weise angefertigt ist und auf einer

Stahlaxe rotirt. Die Bürsten und der Collector sind in der Figur 29 auf der rechten Seite der Maschine sichtbar und die durch dieselben abgeleiteten Ströme werden, wie bereits erwähnt, nicht nur zur Arbeitsleistung, sondern auch nach dem dynamischen Principe zur Magnetisirung der inducirenden Magnete verwendet.

Die Maschinen dieser Art wiegen 180 Kgr., haben eine Höhe von 0·60 Mtr., eine Breite von 0·35 Mtr. und eine Länge (einschliesslich der in der Figur auf der linken Seite abgebildeten Riemenscheibe) von 0·65 Mtr. Der für die inducirenden Magnete angewendete Kupferdraht wiegt 28 Kgr., während die Kupferdrahtumwindungen des Ringes 4·5 Kgr. wiegen. Die Rotations-Geschwindigkeit der Maschine ist gewöhnlich 900 Touren per Minute und ist die Maschine im Stande, einen Strom zu erzeugen, welcher ein elektrisches Licht von einer Stärke von 1440 Carcel'schen Brennern zu speisen vermag.

Eine Erwähnung verdient besonders auch die im Jahre 1873 erbaute

Maschine für Galvanoplastik von Gramme. Diese Maschine wiegt 177·5 Kgr., wovon 47 Kgr. auf das die Eisenkerne umgebende Kupfer kommen, und hat eine Höhe von 0·60 und eine Länge und Breite von 0·55 Mtr. Der durch dieselbe in einem galvanischen Bade erzeugte Niederschlag beträgt 600 Gr. Silber per Stunde und zu dem Betriebe der Maschine sind $^2/_3$ Pferdekraft nothwendig. Die inducirenden Magnete sind nicht, wie in der vorher beschriebenen Maschine, mit Kupferdrähten umwunden, sondern jede Hälfte eines jeden der beiden tripolaren Magnete ist mit einem

sie ganz umfassenden Kupferbleche umgeben, so dass im Ganzen die Kupferbekleidung der inducirenden Magnete nur aus 4 breiten Kupferbändern besteht.

Die Drahtwindungen der Ring-Armatur, welche von den Polschuhen, wie in den Lichtmaschinen, fast ganz eingeschlossen ist, bestehen aus flachgedrücktem, starkem Drahte, der dem Inductor eine sehr grosse Solidität verleiht, die ihn gegen die Wirkungen der Centrifugalkraft schützt.

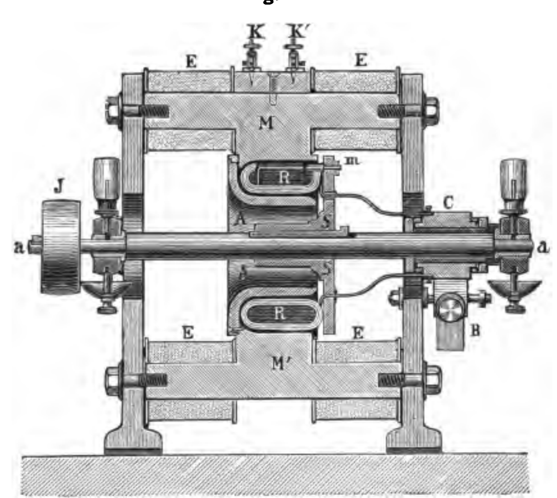
Diese Anordnung der Kupferumwindungen ist für eine Maschine für galvanoplastische Zwecke passend, da solche Maschinen Ströme von geringer Spannung, aber grosser Quantität zu erzeugen haben, was am besten durch starke Kupferumwindungen, die also wenig Widerstand haben, erreicht wird. Die inducirenden Magnete erhalten ihren Strom nach dem dynamo-elektrischen Principe von dem Inductor und ist mit der Maschine, wie mit der Weston'schen und Möhring-schen Maschine ein automatischer Strombrecher verbunden, welcher das Eintreten von Polarisationsströmen entgegengesetzter Richtung aus den Bädern in die Maschine verhindert.

Die Gramme'schen Maschinen für elektrische Kraftübertragung unterscheiden sich insofern von den übrigen Maschinen desselben Constructeurs, als in denselben vier Paare von Elektromagneten in Anwendung kommen, welche auf der Innenseite eines octagonalen Gestelles befestigt sind, von denen je zwei in ihrer Stellung einen rechten Winkel bildende Magnete, wo sie convergiren, einen gemeinsamen Polschuh tragen, der ihre Pole verbindet.

Auf diese Weise entstehen vier abwechselnd entgegengesetzte Pole, welche den Ring-Inductor beinahe ganz umfassen und in ihm vier wandelnde Pole erzeugen, welche stark inducirend auf die denselben umgebenden Drahtspiralen einwirken.

Einer der Nachtheile, der in der Construction der Gramme'schen Maschinen bemerkbar ist, nämlich der,

Fig. 31.




dass nur der an der Aussenseite des Ringes befindliche Theil der Kupferspiralen der inducirenden Wirkung der festen Magnete ausgesetzt ist, wurde durch Fein in Stuttgart in seiner Maschine zu beseitigen gesucht.

Die dynamoelektrische Maschine von Fein, welche in Figur 31 abgebildet ist, enthält einen cylinderförmigen Ring-Inductor *RR*, dessen Kern aus einer Anzahl ganz dünner, von einander isolirter Eisen-

bänder besteht und der auf einem Messingsterne *SS* befestigt ist, durch dessen Centrum die Axe geht. Die Enddrähte der Spiralen führen durch mit isolirenden Ringen versehene Oeffnungen in dem Sterne *S S*, zu dem Collector *C*, welcher auf dem in der Zeichnung rechts nach aussen hervorragenden Theile der Axe befestigt ist.

Die inducirenden Elektromagnete bestehen, ähnlich wie die der Gramme'schen dynamoelektrischen Maschinen, aus Eisenkernen, die durch die Art der Umwickelung der Spiralen in tripolare Magnete verwandelt werden und die in der Mitte mit Polschuhen *M M'* versehen sind, welche nahe an die äusseren mit der Axe parallel laufenden Theile der Inductorspiralen herantreten. Ausserdem sind an diesen Polschuhen die eigenthümlich geformten Verlängerungen *A A* angeschraubt, welche die hinteren und inneren Theile der Spiralwindungen umschliessen, so dass beinahe alle Theile des Drahtes der inducirenden Wirkung der Magnetpole ausgesetzt sind.

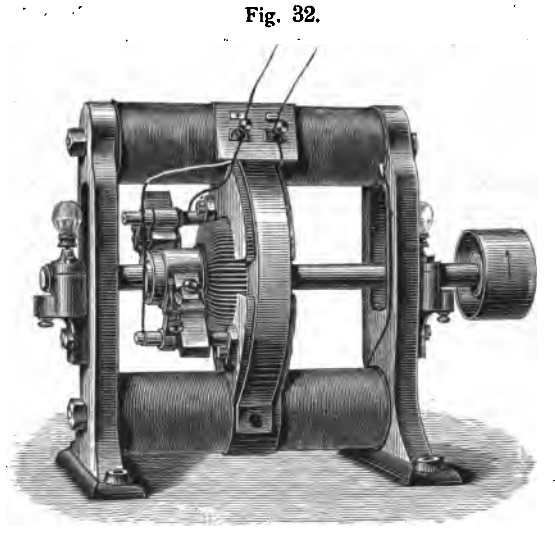
Die Schuckert'sche Flachringmaschine (Fig. 32) ist ebenfalls so construirt, dass die inducirende Wirkung der Magnete auf die Spiralen besser ausgenützt ist als in den Gramme'schen Maschinen, nur ist dieses auf eine etwas andere Weise erreicht als in der Fein'schen Maschine.

Während in der Maschine von Fein der Ring eine cylinderförmige Gestalt hat, hat Schuckert einen flachen Ring als Armatur angewendet, nach welchem er auch die Maschine benannt hat, und dieser flache Ring wird von den beiden Polschuhen der inducirenden

Elektromagnete, die sich beinahe zu einer Kapsel ergänzen, fast ganz eingeschlossen. Der Kern des Eisenringes besteht aus dünnen, von einander isolirten Blechbändern und der Collector und die Drahtbürsten sind ähnlich construirt, wie dieselben Theile in den Gramme-schen Maschinen.

Schuckert fabricirt verschiedene Grössen und

Fig. 32.



Typen seiner Maschinen, unter Anderem auch solche für galvanoplastische Zwecke, die mit Ausnahme des flachen Ringes fast ganz dieselbe Construction haben wie die Gramme'schen Maschinen derselben Art, und ausserdem solche mit zwei Collectoren, von denen je einer auf einem Ende der Axe sich befindet. Auch diese Einrichtung wird ebenfalls von Gramme angewendet und dient dazu, es zu ermöglichen, dass nur ein Theil des

Stromes zur Magnetisirung der inducirenden Magnete verwendet wird, während der grössere Theil des Stromes blos zur Arbeitsleistung dient, was z. B. bei der Anwendung dieser Maschinen für galvanoplastische Zwecke den Vortheil hat, dass ein Eintreten der Polarisationsströme aus den Bädern in die Maschine eine Umkehrung der Polarität der inducirenden Magnete nicht hervorrufen kann.

Aus demselben Grunde construirt Schuckert auch Maschinen mit zwei flachen Ringen, die ausserdem mit einer Vorrichtung versehen sind, um im gewünschten Falle die Ströme der beiden Ringe auf Quantität oder Spannung koppeln zu können.

Einen anderen Versuch, für die schlechte Ausnützung der inducirenden Magnete auf die Armaturspiralen eine Abhilfe zu finden, repräsentirt

die Maschine von Heinrichs. In dieser Maschine hat der aus einem Bündel von dicken Eisendrähten angefertigte Ring-Inductor einen hufeisenförmigen Querschnitt, und die Drahtumwindungen, welche ihn umgeben, liegen nur auf der äusseren Seite auf, während sie auf der inneren Seite hohl liegen. Um die auf dem Eisenringe aufliegenden Theile der Drahtwindungen möglichst vollkommen der inducirenden Wirkung der Elektromagnete auszusetzen, bilden die Polschuhe der letzteren einen nahezu vollkommenen Ring, der nur an zwei Stellen unterbrochen ist und ebenfalls einen hufeisenförmigen Querschnitt hat, so dass er die Armatur an der Aussenseite beinahe vollständig umfasst. Die Canalisation der Armatur soll auch dazu dienen, die Ventilation zu befördern.

Desmond G. Fitzgerald's Maschine enthält eine dem Brush'schen Ringe ähnliche Armatur, auf welcher die Spiralen durch eiserne Keile von einander getrennt sind, und die Elektromagnete, welche diesen Ring vollständig umfassen, bestehen zu diesem Zwecke aus mehreren sich zu einem hohlen Ringe ergänzenden Stücken. Sowohl diese Maschine als die Heinrichs'sche Maschine dürften, trotz ihrer scheinbar guten Ausnützung der inducirenden Wirkung der Elektromagnete, kaum eine grosse Anwendung in der Praxis finden, da, wenn dieselben so hergestellt werden sollen, dass die Armatur möglichst nahe den Magnetpolen rotiren kann, und wenn zugleich eine schnelle Rotation verlangt wird, für den Constructeur ausserordentlich viel technische Schwierigkeiten zu überwinden sind. Im Falle diese Maschinen nämlich nicht in einer äusserst symmetrischen Weise ausgeführt sind, steht eine Reibung zwischen der Armatur und den Polschuhen der Elektromagnete zu befürchten, was natürlich die Maschine schnell unbrauchbar machen würde.

Besser ist das Problem der guten Ausnützung der Armaturspiralen gelöst in der

Maschine von Jürgensen. In dieser Maschine befinden sich ebenfalls innerhalb der Ring-Armatur wie ausserhalb derselben inducirende Elektromagnete, jedoch, da der Querschnitt des Ringes nebst Drahtwindungen einen verhältnissmässig geringen Durchmesser hat, so kommt es nur darauf an, die horizontal liegenden Theile der Drahtwindungen der inducirenden Wirkung der Magnetpole auszusetzen, während man die kurzen, verticalen Strecken vernachlässigen kann, und die Magnet-

pole brauchen daher keine besonders complicirte Form zu haben.

Der Kern der Armatur ist in der Jürgensen'schen Maschine zur Vermeidung der Foucault'schen Ströme aus einzelnen von einander isolirten und aus Eisendraht bestehenden Ringen angefertigt, und erwähnenswerth ist auch der Umstand, dass die Drahtwindungen der Elektromagnete nach den Polen zu an Dicke zunehmen, um eine stärkere Concentration des Magnetismus an den Polen zu erhalten.

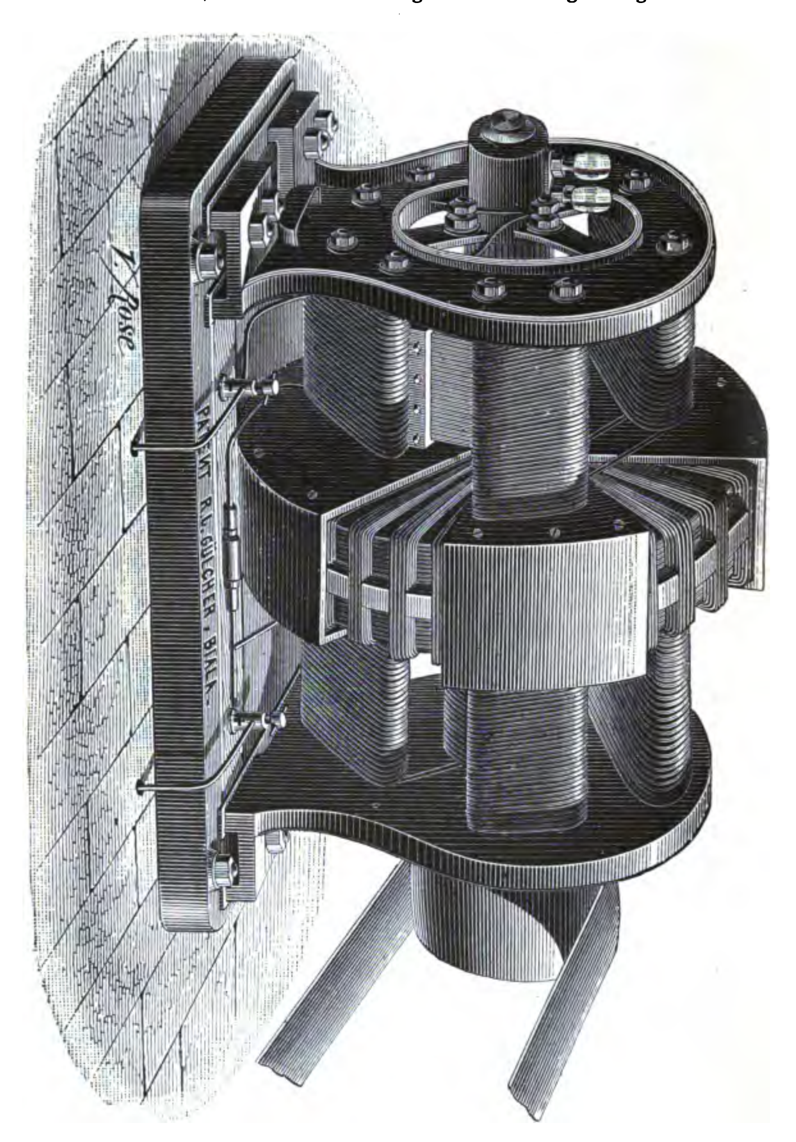
Eine durch solide und praktische Construction sich auszeichnende Maschine ist

die dynamoelektrische Maschine von Gülcher. Die Dimensionen der wenigen, aber starken, aus Drahtseilen bestehenden Kupferspiralen, welche die Elektromagnetkerne umgeben, zeigen, dass die Maschine für Ströme von grosser Quantität, aber geringer Spannung bestimmt ist.

Der flache Ring-Inductor, dessen Bewickelung dem des Pacinotti'schen Ringes sehr ähnlich ist, wie aus Figur 33 ersichtlich, rotirt zwischen vier, ihn klammernartig umfassenden Polschuhen, deren Polarität von dem einen zum andern im Kreise herum wechselt und welche die Vereinigung von je zwei der mit gleichnamigen Polen einander gegenüberstehenden inducirenden Elektromagneten bilden.

Die vier in den Spiralen des Inductors inducirten Ströme werden durch zwei schleifende Bürsten quantitativ vereinigt und nach aussen geleitet.

Die in Figur 33 abgebildete Maschine ist bei einer Rotations-Geschwindigkeit von 940 Touren per Minute

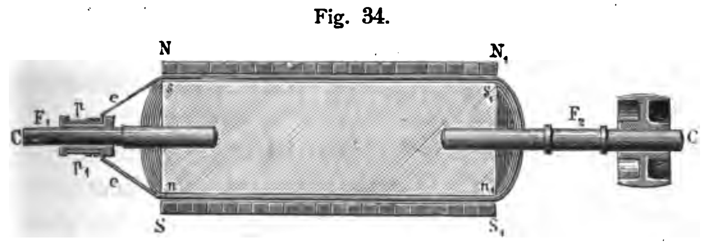

V. Rose
PATENT R.L. GÜLCHER, BIALA.

und einem Kraftaufwande von 10 Pferdekräften im Stande, 6 Gülcher'sche Lampen, deren jede eine Leuchtkraft von 1300 Normalkerzen hat, zu speisen.

Zu den Vorzügen der Maschine gehört, dass der äussere Widerstand derselben gering ist, da die vier Elektromagnetpaare neben einander geschaltet sind, und dass durch die vortheilhafte Anordnung der Umwindungen der innere Widerstand der Maschine für den Ring und die Elektromagnete zusammen nur 0·265 Ohms beträgt.

Von den vorher beschriebenen Maschinen sehr verschieden sind die dynamoelektrischen Maschinen der

Fig. 34.




Firma Siemens & Halske, in welchen der von Hefner-Alteneck erfundene Trommel-Inductor zur Anwendung kommt.

Der Trommel-Inductor in seiner einfachsten Form ist in Figur 34 abgebildet. In dieser Figur sind $N N_1$, $S S_1$ die Pole der inducirenden Magnete, während $s s_1$, $n n_1$ einen hohlen eisernen Cylinder repräsentirt, der mit der Axe rotirt und um welchen die Drähte parallel mit der Drehungsaxe aufgerollt sind. Da nun bei der Rotation in dem Eisencylinder gerade so wie im Gramme'schen Ringe wandelnde Pole inducirt werden und da, wie die Zeichnung zeigt, der Zwischen-

raum zwischen den Magnetpolen und dem Inductor ein äusserst kleiner ist, so bewegen sich die Spiralen in einem magnetischen Felde von sehr grosser Intensität.

Die auf die Inductortrommel mit der Drehungsaxe parallel aufgewundenen Drahtspiralen sind in Gruppen getheilt, 8 bis 28 an der Zahl, die eine zusammenhängende Drahtleitung darstellen; ausserdem sind die Enddrähte der einzelnen Gruppen mit den Segmenten des Collectors verbunden und zwar hat der Collector ebensoviele Segmente, wie Drahtgruppen auf der Trommel vorhanden sind. Die Verbindung der Enddrähte mit den Collectortheilen ist derart, dass stets in zwei gegenüberliegenden Theilen des Collectors die beiden in dem Drahtsysteme erzeugten Summenströme von entgegengesetzter Richtung zusammenstossen und von dort durch Contactringe nach Aussen geleitet werden können.

Die Art und Weise, in welcher die Verbindungen zu diesem Zwecke hergestellt sind, lässt sich sehr deutlich aus Figur 35 erkennen. Diese Figur repräsentirt einen Trommel-Inductor, auf welchem 8 Drahtgruppen aufgewunden sind, und sind die einzelnen Segmenttheile des Collectors durch die Buchstaben $a$, $b$, $x^1$, $c$, $d$, $e$, $x$, $f$, bezeichnet, während die einzelnen Theile derselben Drahtgruppe durch gleiche Nummern bezeichnet sind.

Wenn man den Lauf des Drahtes einer Gruppe in der Figur verfolgt und von dem Collector ausgeht, so sieht man, dass der Draht, wenn er das entsprechende Collectorsegment verlässt, auf der vorderen Seite des Cylinders bis zur Peripherie läuft, dann einen rechten Winkel macht, parallel der Axe auf dem Cylinder entlang läuft, wieder einen rechten Winkel

macht, das Centrum der hinteren Seite des Cylinders

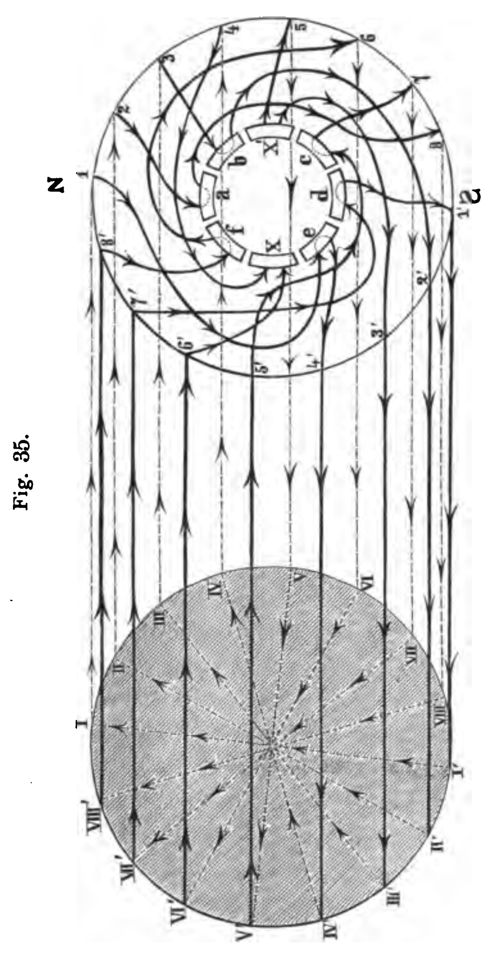


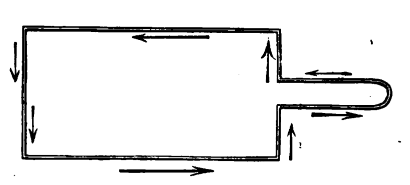
Fig. 35.

passirt, sich aufs neue der Peripherie nähert, nochmals rechtwinkelig umbiegt, dann auf der entgegengesetzten

Seite des Cylinders entlang läuft und, nachdem er zum letzten Male eine rechtwinkelige Biegung gemacht hat, mit einem anderen Segmente des Collectors in Verbindung tritt.

Die eine Hälfte einer solchen rechtwinkelig gebogenen Drahtgruppe ist nun während der Rotation dem Einflusse des Nordpols der inducirenden Magnete ausgesetzt, während die andere Hälfte dem Südpol ausgesetzt ist; es werden also in beiden Hälften Ströme von entgegengesetzter Richtung entstehen, d. h. in der unteren Hälfte des Drahtes wird der Strom z. B. von links nach rechts laufen, während er in der oberen Hälfte von rechts nach links gerichtet ist; beide Ströme zusammen jedoch bilden dennoch nur einen Strom von derselben Richtung, wie man bei einem Blick auf Figur 36 sofort erkennen kann. Da die Trommel aber rotirt, so wird diejenige Hälfte der Spirale, welche in einem gegebenen Augenblicke die obere war, nach einer halben Umdrehung die untere Hälfte werden, d. h. jede Windungshälfte kommt bei einer vollen Umdrehung der Spirale einmal in die von dem Nordpol dominirte, und einmal in die von dem Südpol dominirte Stellung, und der Strom wird sich umkehren, gleich nachdem die beiden Seiten der Spiralen die neutralen Punkte, welche gleichweit von dem Nord- und Südpol entfernt sind, passirt haben. Der Collector dient dazu, alle Ströme der einen Richtung gleichzeitig nach dem

Fig. 36.



einen Leitungsdrahte zu führen, während er die Ströme der entgegengesetzten Richtung nach dem anderen Leitungsdrahte ableitet, d. h. die entgegengesetzten Ströme werden durch ihn zu Strömen von gleicher Richtung vereinigt. Dieses wird möglich durch die geniale Anordnung, welche der Erfinder dieses Collectors in Bezug auf die Verbindung der Drähte der verschiedenen Spiralen mit den einzelnen Collectorsegmenten getroffen hat. Diese Anordnung ist eine solche, dass an zwei diametral gegenüberliegenden Segmenten des Collectors die entgegengesetzten Ströme, ähnlich wie in dem Gramme'schen Collector, zusammenstossen und dass dieselben sozusagen auf Quantität gekoppelt werden können. Wenn wir (Fig. 35) die Enden des Drahtes, in denen der Strom von der Peripherie der Collectorscheibe nach dem Centrum zu gerichtet ist, mit + bezeichnen, während die Enden, in denen er eine Richtung von dem Centrum nach der Peripherie hat, mit — bezeichnet werden, so sehen wir, dass bei dem Collectorsegment $x$ zwei + Drähte und bei dem Collectorsegment $x^1$ zwei —Drähte zusammenstossen, und ist bereits in Figur 10 veranschaulicht, wie man dadurch, dass man die Leitungsdrähte mit den betreffenden Segmenten in Verbindung bringt, einen gleichgerichteten Strom erhalten kann; es ist deshalb auch die Methode der Ableitung des Stromes in der Siemens-Halske'schen Trommelmaschine ganz dieselbe wie die bei den Gramme-schen Maschinen angewandte, d. h. die Leitungsdrähte sind stets in Contact mit den beiden metallischen Commutatorsegmenten, in welchen die entgegengesetzten Ströme zusammenstossen, und durch die Rotation der

Trommel kommen nach und nach alle Commutatorsegmente in diese Stellung.

Der soeben beschriebene Trommel-Inductor ist in einer grossen Anzahl der von der Firma Siemens & Halske construirten Maschinen verwendet; und da die Construction dieser Maschinen im Allgemeinen eine gleiche ist, so genügt es, nur einige derselben zu beschreiben.

Figur 37 repräsentirt eine

magnetelektrische Trommelmaschine der Firma Siemens & Halske. Diese Maschine ist für Riemenbetrieb eingerichtet, wie die Riemenscheibe *G* auf der linken Seite der Figur zeigt, und ähnelt sehr den kleinen magnetelektrischen Maschinen derselben Firma für Hand- und Fussbetrieb.

Der Trommel-Inductor in dieser Maschine rotirt zwischen den ihn enge umschliessenden Polstücken von 50 V-förmigen Stahlmagneten, von denen 25 oben und 25 unten stehen und mit ihren gleichnamigen Polen einander gegenüber angebracht sind.

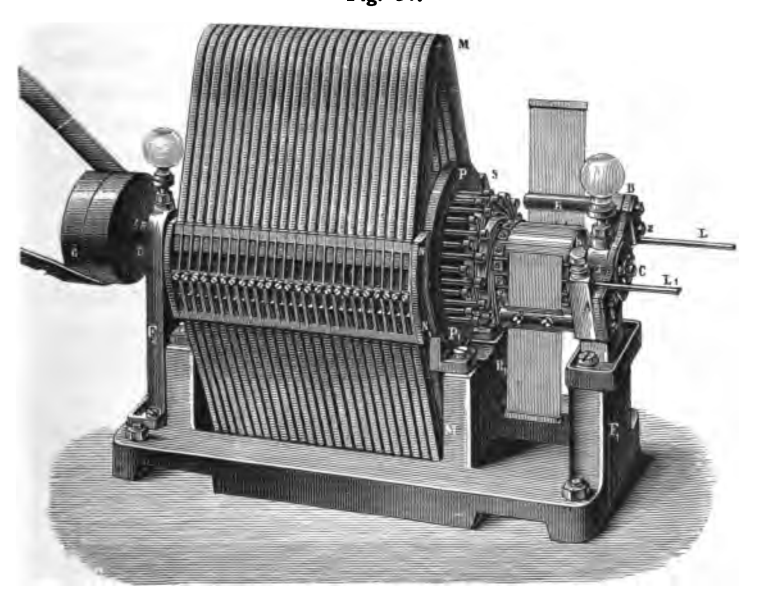
Die Pole der oberen und unteren Paare sind durch auf dieselben festgeschraubte Polschuhe aus weichem Eisen miteinander verbunden, und es entstehen so magnetische Felder von grosser Intensität, zwischen denen der Trommel-Inductor rotirt.

Der Collector und die Bürste sind auf der rechten Seite der Figur zu erkennen.

Wenn die Trommel in Rotation gesetzt wird, so werden in den dieselbe umgebenden Spiralen durch die directe Einwirkung der inducirenden Magnetpole sowohl, wie durch die in dem Eisencylinder sich bildenden beweglichen Pole Ströme inducirt, welche von dem

Collector gleichgerichtet und durch die Contactbürsten $R R_1$ nach aussen geleitet werden. Aus der beschriebenen Construction des Trommel-Inductors lässt sich leicht erkennen, dass die inducirende Wirkung der Magnete in diesen Siemens'schen Maschinen viel besser ausgenützt wird als in den Gramme'schen Maschinen, da

Fig. 37.



alle Theile der Drahtspiralen des Inductors sich in den magnetischen Feldern bewegen, und kein Theil derselben sich im Innern des Cylinders befindet, wo seine Anwesenheit nicht nur werthlos, sondern selbst nachtheilig sein würde.

Um die Erhitzung des Eisencylinders zu vermeiden, welche bei Maschinen, die grosse Elektricitäts-

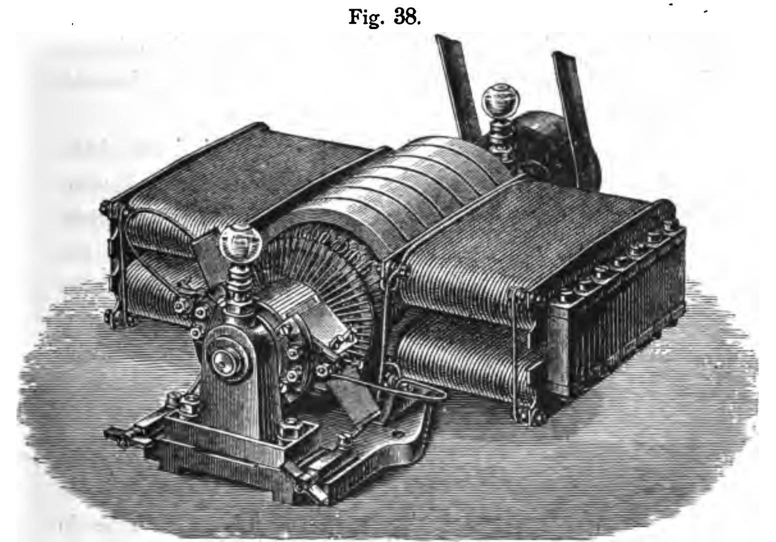
mengen erzeugen, in Folge der Bewegung einer Metallmasse in den magnetischen Feldern stattfindet und wodurch auch die Gramme'schen Maschinen viel zu leiden haben, construirte die Firma Siemens & Halske für den Grossbetrieb bestimmte Maschinen, in welchen der Eisenkern der Trommel unbeweglich angebracht ist. Die Inductorspiralen sind in diesen Maschinen auf einer Trommel von Neusilberblech aufgewunden, die um die Eisentrommel in geringem Abstande von derselben und von den sie einschliessenden Magnetpolen rotirt. Die Stellung der Magnetpole ist dieselbe, wie in der in Figur 38 abgebildeten Form und erhalten die Magnete, deren horizontale Theile jedoch in der älteren Form rund sind, ihren Magnetismus nach dem dynamoelektrischen Princip.

Die Maschinen mit feststehender Eisentrommel haben $110^1/_2$ Cm. Länge, eine Höhe von 32 Cm. und eine Breite von $46^1/_2$ Cm. Ihre Rotations-Geschwindigkeit beträgt 450 Touren in der Minute und erzeugen dieselben ein Licht von der Leuchtkraft von 14.000 Normalkerzen. Zum Betriebe einer solchen Maschine sind sechs Pferdekräfte nothwendig.

Die Feststellung des Eisencylinders in den Maschinen ist allerdings in einer Hinsicht eine grosse Verbesserung, erschwert jedoch, wie die Erfahrung gelehrt hat, die Construction der Maschinen und besonders das Aufrollen der Inductorspiralen ausserordentlich; es wird dieselbe daher nur wenn es absolut nothwendig ist, d. h. bei sehr grossen Maschinen, von der Firma Siemens & Halske angewendet. Die mittleren und kleinen Maschinen hingegen sind so construirt,

dass die Drahtspiralen direct auf einen aus Eisendrähten bestehenden Eisencylinder aufgewunden sind. Auch die complicirte Verbindung der einzelnen Spiralen ist nicht in allen Siemens'schen Maschinen beibehalten, sondern in den bekannten Siemens'schen Maschinen mit plattenförmigen Magneten (Fig. 38) ist ein Trommel-Inductor angewandt, dessen Drahtwindungen in eine

Fig. 38.



grosse Anzahl von Gruppen eingetheilt sind, welche ganz in der Gramme'schen Weise vereinigt werden und zu einem Collector Gramme'scher Construction führen, während die Siemens'sche Collectorscheibe fortgelassen ist. Die Ableiter sind in diesen Maschinen gerade so, wie in der Maschine, welche in Figur 37 abgebildet ist, Metallbürsten und nicht Contactrollen, wie in den älteren Maschinen. Die Maschinen dieser

Art werden von der Firma Siemens & Halske in verschiedenen Grössen construirt.

Eine Grösse derselben ist 757 Mm. lang, 700 Mm breit und 284 Mm. hoch. Die Trommel ist mit 28 Drahtgruppen bewickelt und der Collector besteht aus 56 Strahlstücken. Die Maschine wiegt 200 Kgr., hat eine maximale Rotations-Geschwindigkeit von 700 Touren in der Minute und es sind $3^1/_2$ Pferdekräfte zu ihrem Betriebe erforderlich. Sie ist im Stande ein elektrisches Kohlenlicht von einer Lichtstärke von 4000 Normalkerzen zu erzeugen.

Die kleineren Maschinen dieser Art sind 698 Mm. lang, 572 Mm. breit und 233 Mm. hoch. Der Inductor dieser Maschinen ist ebenfalls mit 28 Drahtgruppen bewickelt und der Collector besteht demnach auch aus 56 Theilen. Das Gewicht der Maschinen beträgt 115 Kgr., ihre maximale Rotations-Geschwindigkeit beträgt 900 Touren in der Minute, und zum Betriebe sind $1^1/_4$ Pferdekraft erforderlich.

Mit diesen Maschinen erhält man ein Licht von einer Leuchtkraft von 1400 Normalkerzen. Kleine Maschinen dieser Art werden auch mit vertical stehenden Elektromagneten construirt, wie die Hilfsmaschine in Fig. 23 zeigt.

Ein äusserst interessanter Typus der Siemens'schen Maschinen ist durch Figur 39 repräsentirt.

Die Siemens'schen Maschinen dieser Art sind bekannt unter dem Namen

Dynamoelektrische Maschinen für Reinmetall-Gewinnung von Siemens & Halske und drei derselben befinden sich in dem königlichen Hütten-

werke zu Oker i. H. Durch eine jede von ihnen werden täglich 5—6 Ctr. Kupfer niedergeschlagen, wobei eine Triebkraft von 8—10 Pferdekräften angewendet wird.

Die Elektromagnete dieser Maschinen sind mit dicken, viereckigen Kupferbarren umgeben und zwar trägt jeder der Magnetschenkel sieben solche Windungen. Der Inductor trägt ebenfalls nur eine Lage von Umwindungen und sind die einzelnen Abtheilungen der Kupferbänder, welche den Spiralgruppen in den anderen Maschinen entsprechen, durch passend gebogene Ansatzstücke mit dem Collector verbunden, auf welchem die aus starken kupfernen Platten bestehenden Stromsammler ruhen. Die Isolationen der einzelnen Kupfertheile sind aus Asbest hergestellt und wird daher diese Isolation auch nicht vernichtet werden, selbst wenn die Kupferbekleidungen der Maschine sich noch so sehr erhitzen sollten.

Für galvanoplastische Zwecke baut die Firma Siemens & Halske kleinere Maschinen ähnlicher Construction.

Die neueste dynamoelektrische Maschine von Siemens & Halske hat äusserlich eine grosse Aehnlichkeit mit der Siemens'schen Maschine für Wechselströme und ist auf folgende Weise construirt.

Auf einer Grundplatte befinden sich zwei eiserne Ständer, deren jeder an seiner inneren Seite eine gerade Anzahl von Elektromagneten trägt, deren Stellung so angeordnet ist, dass ein jeder derselben die entgegengesetzte Polarität sowohl von dem ihm gegenüberliegenden, als auch von den rechts und links von ihm befindlichen Magneten hat. Die Spiralen, welche

die Magnetkerne umgeben, bilden eine zusammenhängende Drahtleitung, und in den magnetischen Feldern

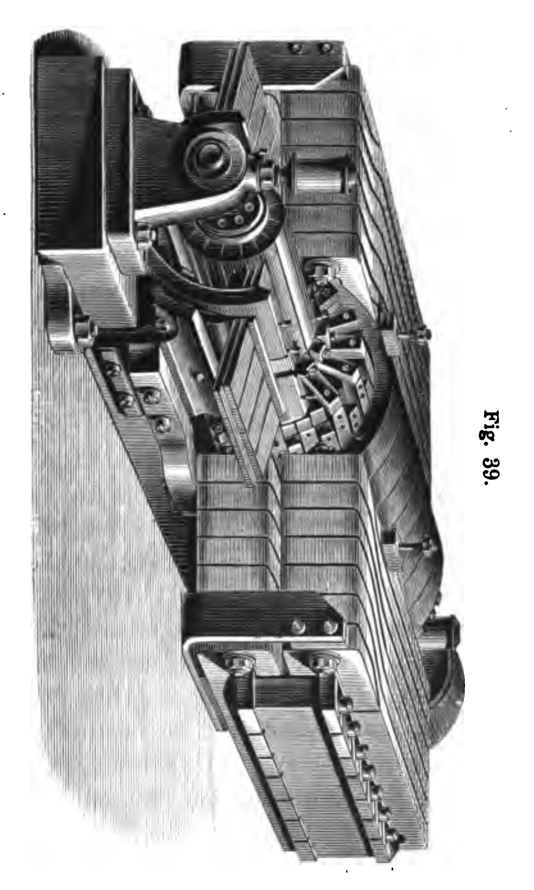


Fig. 39.

der mit flachen Polschuhen versehenen Pole rotiren, ähnlich wie in der Maschine für Wechselströme, die auf Holzkernen aufgewickelten Armatur-Spulen, deren

Anzahl jedoch um 2 kleiner ist, als die Anzahl der auf je einem der Ständer angebrachten Magnete.

Die Abstände der Spulen von einander sind daher grösser als die seitlichen Abstände der Magnete von einander, und bei der Rotation kommen nicht alle Spulen gleichzeitig den Magnetpolen direct gegenüber zu stehen, sondern dieses ist jedesmal nur in Bezug auf zwei derselben der Fall, während die übrigen noch um grössere oder kleinere Entfernungen von den Magnetpolen, denen sie sich während der Rotation zu nähern bestreben, entfernt sind. Die Maximalstärke der Stromimpulse tritt daher nicht in allen Spulen in demselben Augenblicke ein, sondern in aufeinanderfolgenden Spulen in aufeinanderfolgenden Zeitintervallen.

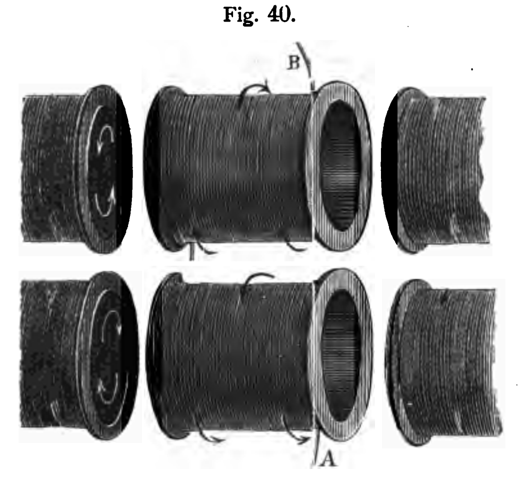
Die Spiralen der Armaturspulen bilden eine einzige ununterbrochene Leitung, sind aber so gewunden, dass die Windungsweise von einer zur anderen Spule wechselt. Die Richtung der Ströme, welche in den Spulen während der Rotation der Armatur inducirt werden, lässt sich nun leicht feststellen, wenn man, wie in Figur 40 die Armaturspulen und Magnete sich mit ihren Längenseiten dem Beschauer zugekehrt denkt und die Richtung der Windung des Drahtes der Armaturspulen mit der Richtung der Ampère'schen Ströme, welche um die Eisenkerne der inducirenden Magnete circuliren, vergleicht.

Wenn die Windungsrichtung des Drahtes an einer bestimmten Seite der Spule dieselbe ist, wie die der Ampère'schen Ströme des Magnetpols, dem sich diese Seite der Spule nähert, so wird in dem Drahte der Spule ein Strom inducirt werden, der der Windungs-

richtung des Drahtes entgegengesetzt ist, während, wenn an den einander gegenüberliegenden Seiten der Spule und des betreffenden Magnets, die Windungsrichtung der Spule und die Ampère'schen Ströme des Magnetpoles eine entgegengesetzte Richtung haben, in dem Drahte der Spule Ströme inducirt werden, welche in der Windungsrichtung der Spiralen circuliren werden.

Bezeichnet man nun alle Spulen und alle magne-

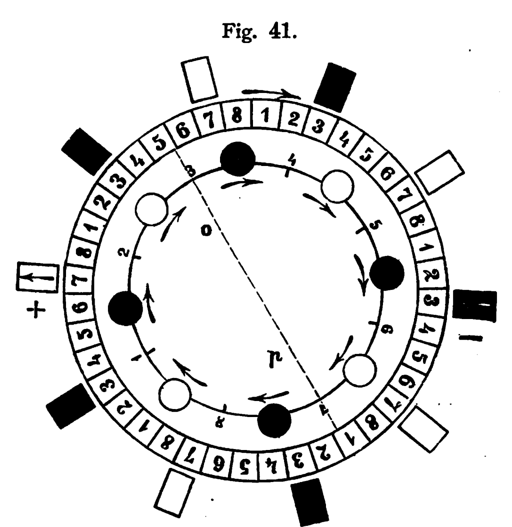
Fig. 40.




tischen Felder, in welchen, wenn sich die Spulen zwischen den Magnetpolen befinden, die Richtung der Drahtwindungen der Spulen mit der Richtung der Ampère'schen Ströme der gegenüberliegenden Pole correspondirt, durch Zeichen von gleicher Farbe, so wird die Stellung, welche die Armaturspulen während ihrer Rotation zu den magnetischen Feldern einnehmen, aus dem Schema Figur 41 klar werden.

Wenn man dieses Schema, in dem die kleinen schwarzen und weissen Scheiben die Spulen, und die rechteckigen Figuren die magnetischen Felder bedeuten, genau betrachtet, so wird man sehen, dass alle Spulen, welche sich correspondirenden magnetischen Feldern nähern, in einer Hälfte der Rotationsscheibe liegen, während alle Spulen, die sich entgegengesetzten Feldern

Fig. 41.




nähern, in der anderen Hälfte der rotirenden Scheibe situirt sind; und welche Stellung man auch der Scheibe geben mag, eine solche Theilung derselben wird sich stets finden lassen.

In derjenigen Hälfte nun, in welcher Spulen und magnetische Felder mit einander correspondiren, wird nach dem Obengesagten ein Strom durch die Armaturspiralen circuliren, welcher der Windungsrichtung des

Drahtes entgegengesetzt ist, während in der andern Hälfte der Strom in der Windungsrichtung des Drahtes laufen wird.

Da nun die Spiralen der einzelnen Spulen eine einzige ununterbrochene Leitung bilden, so werden in dieser Leitung an zwei Punkten Ströme von entgegengesetzter Richtung zusammenkommen, gerade so, wie das in dem Drahtgewinde des Pacinotti'schen Ringes der Fall ist, und handelt es sich nur darum, die beiden Ströme zu einem einzigen in der Leitung zu vereinigen. Dieses geschieht auf folgende Weise.

Wenn, wie in dem durch das Schema illustrirten Falle, 8 Armaturspulen vorhanden sind, so befinden sich auf der Axe der Maschine 8 isolirte Metallringe hintereinander befestigt. Von den Löthstellen je zweier Spulen nun biegen Zweigdrähte ab, welche mit den Ringen in metallischer Verbindung stehen. In dem Schema sind die Löthstellen durch die Nummern 1, 2, 3, 4....8, welche sich zwischen den Zeichen für die Spulen befinden, angedeutet und sind diese Stellen in der Weise mit den erwähnten Ringen verbunden, dass Löthstelle 1 mit Ring 1, Löthstelle 2 mit Ring 2 u. s. w. in Verbindung ist. Ausser diesen Ringen ist zum Aufsammeln der Ströme noch ein Collectorcylinder vorhanden, welcher aus 40 Theilen besteht. Dieser Cylinder ist ebenfalls in dem Schema dargestellt und zwar in seiner correcten Stellung in Bezug auf den Winkel, welchen die einzelnen Theile desselben mit der Stellung der Armaturspulen und Magnetpole in dem gegebenen Augenblicke bilden, jedoch ist seine Stellung, ebenso wie die der übrigen

angegebenen Theile der Maschine, radial verschoben. Die 40 Theile dieses Collectors sind in 5 Gruppen eingetheilt, deren jede die Nummern 1 bis 8 trägt, und zwar stehen alle Theile, welche die Nummer 1 tragen, mit demjenigen Metallringe auf der Axe durch Drähte in Verbindung, zu welchem der Zweigdraht der Löthstelle 1 führt; alle Theile, welche die Nummer 2 tragen, stehen mit dem mit der Löthstelle 2 verbundenen Ringe in Verbindung u. s. w.

Wie bereits gesagt wurde, ist die Stellung der Armaturspulen zu den Magnetpolen eine solche, dass das ganze Armaturspulen - System durch die Rotation in zwei gleiche Theile getheilt wird, in denen Ströme von einander entgegengesetzter Richtung inducirt werden, und dass diese Ströme, wo sie zusammenkommen, abgeleitet und vereinigt werden können. Aus dem Schema, dem die Drehung der Armaturspulen von links nach rechts zu Grunde liegt, ist leicht ersichtlich, dass in dem gegebenen Augenblicke alle Spulen rechts von der durch die Löthstellen 3 und 7 gehenden punktirten Linie sich gleichfarbigen Magnetpolen nähern, während alle Spulen links von dieser Linie sich ungleichfarbigen Magnetpolen nähern. Nach den gegebenen Erklärungen müssen daher die Ströme an den Löthstellen 3 und 7 zusammenstossen, und da diese Löthstellen mit allen den Theilen des Collectorcylinders metallisch verbunden sind, welche die Nummern 3 und 7 tragen, so können sie an allen jenen Theilen abgeleitet werden. Wie das Schema zeigt, befinden sich die ableitenden Metallbürsten, welche durch die mit + und — bezeichneten Pfeile angedeutet sind,

gerade zwei solchen mit 3 und 7 bezeichneten Collectortheilen gegenüber, und da die Stellung des Collectorcylinders zu den Armaturspulen, mit welchen er sich gleichzeitig um die Axe der Maschine dreht, stets dieselbe bleibt, so ist es klar, dass die Bürsten stets auf solchen Collectortheilen schleifen werden, die mit denjenigen Löthstellen in Verbindung stehen, in welchen die entgegengesetzten Ströme zusammenstossen; es werden demnach stets gleich gerichtete Ströme in die Leitung gelangen.

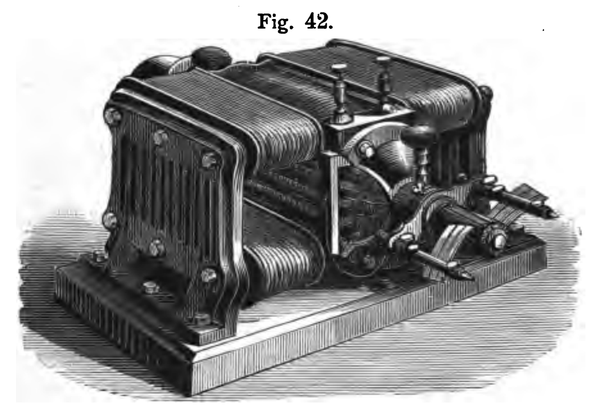
Die Anzahl der Armaturspulen und magnetischen Felder in der soeben beschriebenen Maschine ist nicht feststehend, sondern lässt sich nach bestimmten Gesetzen variiren, ohne dass die Wirkungsweise der Maschine dadurch geändert wird. Man kann z. B. statt wie in dem obigen Falle $n$ Spulen und $n+2$ magnetische Felder anzuwenden, $n$ magnetische Felder und $n+2$ Spulen zur Anwendung bringen, oder mit Beibehaltung einer Anzahl von $n+2$ magnetischen Feldern, $2n$ Spulen verwenden, d. h. die Anzahl der Spulen verdoppeln.

Ein grosser Vorzug aller auf die angegebene Weise construirten Maschinen besteht, gerade so wie bei den Siemens'schen Wechselstrom-Maschinen, darin, dass die Art der Umwicklung der Spulen eine äusserst einfache ist, und dass, da die Armaturspulen auf Holzkerne gewickelt sind, ein Entstehen von Foucault'schen Strömen vermieden wird.

Durch eine vortheilhaft construirte Armatur zeichnet sich auch aus

die dynamoelektrische Lichtmaschine von Weston. (Fig. 42.) Der Eisenkern ihrer Armatur besteht aus 36 dünnen durchlöcherten Eisenscheiben, die an ihrer Peripherie 16 Ausschnitte haben, so dass dieselben dadurch 16zähnigen Rädern ähnlich sehen. Diese Scheiben sind auf der Axe hintereinander in der Weise befestigt, dass, wenn man längs der Axe entlang sieht, alle Zähne sich decken; jedoch sind die Scheiben nicht direct mit einander in Verbin-

Fig. 42.



dung, sondern durch Einschaltung kleiner Zwischenstücke von einander getrennt und kann in Folge dessen nach Aufwicklung der Drahtspiralen fortwährend ein Luftstrom in dem Inneren der Armatur circuliren, der die Erhitzung der Drähte höchst wirksam verhindert. Die Drahtgruppen liegen in den 16 Rinnen, welche durch die hintereinander liegenden Ausschnitte am Rande der 36 Scheiben gebildet werden, und sind ähnlich wie bei dem Siemens'schen Cylinder-Inductor gewunden.

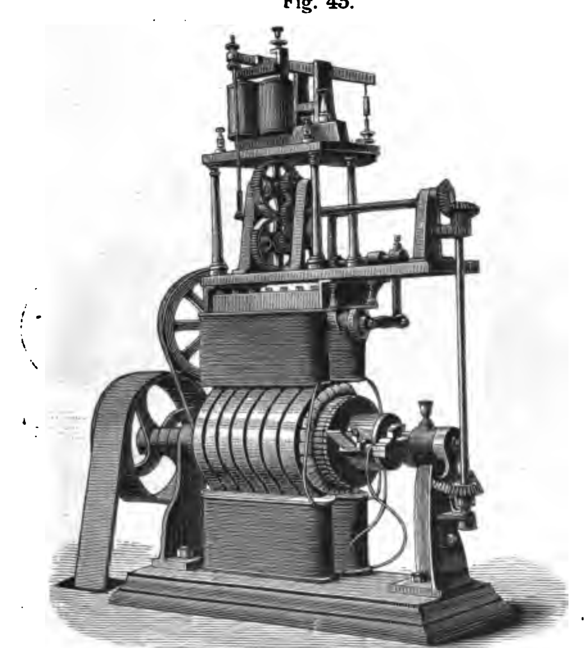
Die cylinderförmigen inducirenden Magnete, in der neuen Form der Maschine 12 an der Zahl, sind zu sechs Paaren vereinigt, von denen die drei oberen Paare ein gemeinsames Polstück tragen, während die drei unteren Paare ebenfalls durch ein gemeinsames Polstück von entgegengesetzter Polarität verbunden sind. Die Spiralen bilden eine ununterbrochene Leitung, die nach dem dynamoelektrischen Principe ihren Strom erhält. Die Wirkungsweise der Elektromagnete dieser Maschine zeichnet sich besonders dadurch aus, dass der inducirende Einfluss derselben nicht gleichzeitig derselbe auf alle Theile eines Drahtes ist, sondern dass er von der Mitte aus nach den Enden des Drahtes zu und umgekehrt erfolgt. Dieses ist dadurch ermöglicht, dass die Polschuhe, zwischen welchen sich der Cylinder-Inductor bewegt, aus parallelen Zungen von gleicher Länge bestehen, deren Enden auf beiden Seiten des Inductors ellipsenförmige Figuren bilden.

Der Collector der Weston'schen Maschine hat ebenfalls eine ganz besondere Form. Er besteht nämlich nicht wie der Gramme'sche Collector aus mit der Axe parallel laufenden einzelnen Segmenten, sondern die Segmentstreifen, obgleich parallel mit einander, bilden Spiralen. Dadurch wird erzielt, dass die ableitenden Bürsten, welche aus 10 bis 12 elastischen Kupferplatten bestehen, die durch Schlitze in drei Theile getheilt sind, gleichzeitig auf mehreren Segmentstreifen schleifen, was der Stromableitung eine grössere Gleichmässigkeit verleiht.

Die dynamoelektrische Maschine von Maxim ähnelt äusserlich vollkommen einer Siemens'schen

Maschine von der in Figur 38 abgebildeten Form mit horizontal gestellten Elektromagneten. In Figur 43 ist dieselbe mit ihrem in Cap. IV beschriebenen Regulator abgebildet. Die Armatur dieser Maschine besteht aus einem Cylinder, um welchen die Spiralen nach der


Fig. 43.



von Gramme angewendeten Methode aufgewickelt und miteinander verbunden sind; jedoch hat jede Spule 4 Lagen von Drähten, und sind die Drahtenden einer jeden Lage mit zwei Segmenten des Collectors verbunden. Zu diesem Zwecke besteht der Collector aus 64 Theilen.

Bei einigen der Maxim'schen Maschinen sind zwei Collectoren, einer auf jeder Seite der Maschine, angebracht und sind die Spulen mit diesen Collectoren in der Weise verbunden, dass die Spulen 1, 3, 5 u. s. w. mit dem einen Collector in Verbindung stehen, während die Spulen 2, 4, 6 u. s. w. mit dem anderen Collector verbunden sind. Ausserdem ist eine Einrichtung an der Maschine vorhanden, welche es ermöglicht, die durch die beiden Collectoren erhaltenen Ströme mit einander

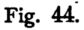
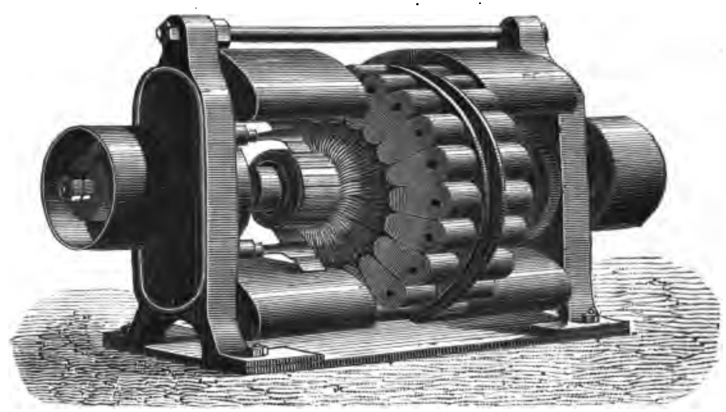


Fig. 44.



auf Spannung oder auf Quantität zu koppeln.

Eine in den Vereinigten Staaten von Nordamerika sehr beliebte Maschine ist die

Maschine von Wallace-Farmer (Fig. 44). Die Armatur dieser Maschine besteht aus zwei Scheiben, die auf der Drehungsaxe nahe aneinander befestigt sind, und welche auf den einander nicht zugekehrten Seiten je 25 flachgedrückte Spulen mit durchbohrten Kernen tragen, deren Spiralen eine ununterbrochene Leitung bilden.

Jede Spule besteht aus 4 einzelnen Drahtrollen, deren Drähte der Reihe nach hintereinander vereinigt sind, und von denjenigen Stellen, wo die Drähte zweier Spulen zusammengelöthet sind, führen Zweigdrähte nach den verschiedenen Segmenten eines nach Gramme'scher Methode construirten und auf der Axe befestigten Collectors.

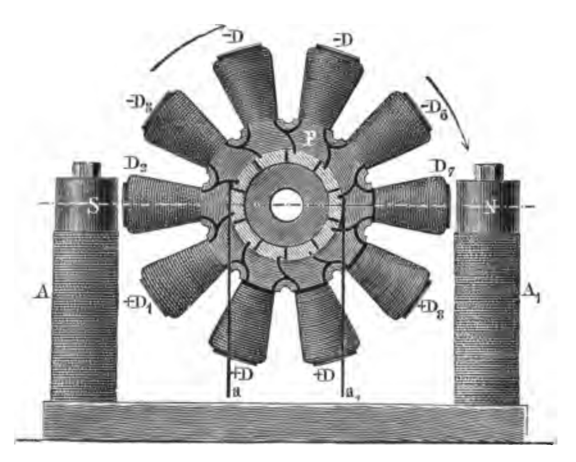
Die inducirenden Elektromagnete, 4 an der Zahl, von denen je zwei durch die eisernen Seitenwände des Maschinengestells zu hufeisenförmigen Magneten vereinigt sind, stehen mit ihren ungleichnamigen Polen einander gegenüber und induciren in den Spulen der Armatur Ströme von gleicher Richtung, welche, nachdem sie die Spiralen der Elektromagnete behufs Magnetisirung der Eisenkerne derselben passirt haben, in die Leitung gelangen.

Die dynamoelektrische Maschine von Lontin ist in Figur 45 abgebildet.

Die Armatur dieser Maschine besteht aus einem Cylinder von weichem Eisen, der einen oder mehrere Kränze von radienförmig befestigten Zapfen trägt, welche die Kerne der Armaturspulen bilden. Die inducirenden Magnete sind zu beiden Seiten der Armatur vertical aufgestellte Eisensäulen. Die Spiralen aller Spulen sind in gleicher Weite gewunden, und zwar ist jedesmal der Enddraht der einen Spirale mit dem Anfangsdrahte der anderen in Verbindung; die Drähte aller derselben bilden daher eine ununterbrochene Leitung. Von den Stellen, wo die Drähte je zweier Spiralen zusammengelöthet sind, führen Zweigdrähte nach den einzelnen Segmenten des Collectors und durch die Schleiffedern

oder Bürsten werden die in dem Drahtgewinde der Armatur erzeugten Ströme gleicher Richtung in die Leitung abgeleitet. Diese Ströme setzen sich natürlicher Weise, gerade so wie die im Pacinotti'schen Ringe inducirten Ströme, aus zwei entgegengesetzten Strömen zusammen, und ist der interne Vorgang in der Lontinschen Maschine bei der angegebenen Windungsweise

Fig. 45.




der Armaturspulen genau derselbe, wie in den Windungen des genannten Ringes.

Um die Maschine in eine Maschine für Wechselströme zu verwandeln, braucht man nur die Spiralen in der Weise zu winden, dass die Richtung derselben von Spule zu Spule abwechselt.

Eine Maschine, mit der sehr gute Resultate in der Praxis erzielt wurden, ist

die dynamoelektrische Maschine von Bürgin. Die Armatur dieser Maschine besteht aus 8 hintereinander auf derselben Axe angebrachten sechseckigen eisernen Rädern, deren Seiten sich jedoch von vorne gesehen nicht decken, da ein jedes Rad gegen das vorhergehende um $7^1/_2{}^0$ verschoben ist. Jedes der 6 Stücke eines jeden der sechseckigen Radkränze bildet den Kern einer Armaturspule und sind demnach im Ganzen 48 Armaturspulen vorhanden. Die Kerne dieser Spulen sind in gleicher Weise mit 6 Spiralen aus Kupferdraht umwunden, deren jede 15 M. Draht von einer Dicke von 1·5 Mm. enthält, und sind die einzelnen Spulen so miteinander verbunden, dass, wenn man sich die 48 Spiralen in einer Ebene projectirt denkt, der Enddraht einer jeden Spule mit dem Anfangsdrahte der nächstfolgenden in Verbindung steht; die Drahtwindung der Spiralen bildet demnach eine ununterbrochene Leitung. Von den Löthstellen je zweier Spiralen zweigt ein Draht zu einem Collectorsegmente ab und wird der Strom, gerade so wie in den vorher beschriebenen Maschinen, durch schleifende Bürsten oder Federn zuerst nach dem dynamoelektrischen Principe durch die Spiralen der Elektromagnete und dann nach Aussen geleitet. Die Stärke der inducirten Ströme wird dadurch sehr vermehrt, dass die Armaturspiralen der Bürgin'schen Maschine sich dicht zwischen den Polschuhen der inducirenden vertical aufgestellten Magnetpaare bewegen.

Der Widerstand der Armatur in der Bürgin'schen Maschine beträgt 1·6 Ohms, der der 4 Elektromagnete 1·2 Ohms, so dass der Gesammtwiderstand der Maschine

gleich 2·8 Ohms ist. Die elektromotorische Kraft des von der Maschine bei einer Rotations-Geschwindigkeit von 1500 Touren erzeugten Stromes ist gleich 195 Volts, bei 1600 Touren 206·5 Volts, wenn der Widerstand der äusseren Leitung 13·16 Ohms beträgt.

Die Länge der Maschine beträgt ungefähr 0·863 M., ihre Höhe etwa 0·342 M. und ihre Breite 0·711 M. Das Gewicht derselben ist ungefähr 6·5 Centner.

Eine wirksame magnetelektrische Maschine für continuirliche Ströme ist

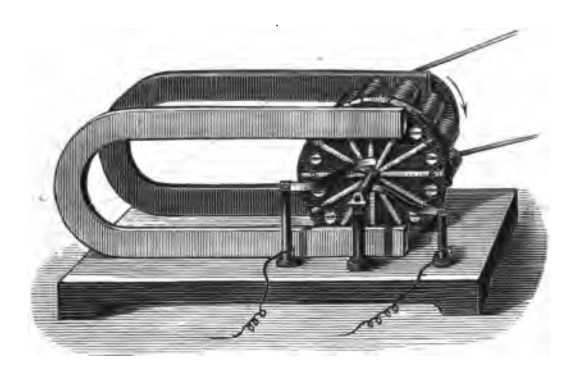
die magnetelektrische Maschine von Niaudet (Fig. 46). Diese sieht äusserlich einer Clarke'schen Maschine sehr ähnlich.

Zwischen den vier Polen von zwei parallelen, mit ihrem einen Schenkel auf der Basis der Maschine befestigten Magneten, die so aufgestellt sind, dass die ungleichnamigen Pole einander gegenüberliegen, rotirt eine vertical stehende Scheibe, auf deren einer Seite 12 horizontale Eisenzapfen im Kreise stehen, die die Kerne von ebenso vielen Armaturspulen bilden. Die Spiralen dieser Spulen sind alle in gleicher Richtung gewunden und ist jedesmal der Enddraht der einen Spule mit dem Anfangsdrahte der nächsten Spule verbunden, so dass die Spiralen der einzelnen Spulen zusammen nur eine einzige grosse Spirale bilden. Von denjenigen Stellen, wo die Drähte von je zwei Spulen zusammengelöthet sind, zweigen auf der Aussenseite der rotirenden Scheibe 12 Metallstreifen ab, welche radial nach dem Centrum der Scheibe gehen und von einander isolirt sind. Auf diesen Streifen schleifen zwei

Federn, durch welche die inducirten Ströme abgeleitet werden.

Rotirt nun die Armaturscheibe in der Richtung des Pfeiles, und nimmt man an, dass der vordere Hufeisenmagnet oben einen Südpol und unten einen Nordpol hat, so werden, wenn man die Vorgänge in Bezug auf diesen Magnet betrachtet — der hintere Magnet verstärkt nur die Wirkung des vorderen Magnets — alle Spulen links von der durch die Pole gehenden

Fig. 46.



verticalen Halbirungslinie der Scheibe, sich von dem Nordpol entfernen und dem Südpole nähern, und zwar wird in den unteren derselben ein Entfernungsstrom und in den oberen ein Näherungsstrom vorherrschen; beide Ströme werden jedoch dieselbe Richtung haben. In allen Spulen auf der rechten Seite der verticalen Halbirungslinie der Scheibe dagegen werden Entfernungsströme in Bezug auf den Südpol und Näherungsströme in Bezug auf den Nordpol inducirt werden. Auch diese Ströme werden unter einander eine gleiche Richtung haben, doch wird

die Richtung derselben entgegengesetzt der Richtung derjenigen Ströme sein, welche in den Spulen auf der linken Hälfte der Scheibe circuliren.

Die beiden entgegengesetzten Summenströme werden also an denjenigen Löthstellen der Armatur zusammentreffen, welche sich genau dem Nord- und Südpole gegenüber, d. h. an den Enden der verticalen Halbirungslinie der Armaturscheibe befinden, und die Schleiffedern, welche dazu dienen, diese Ströme zu einem Strome von gleicher Richtung zu vereinigen, müssen daher auf denjenigen Metallstreifen schleifen, welche in dieser verticalen Halbirungslinie liegen, wie es die Abbildung der Niaudet'schen Maschine zeigt.

In der Praxis haben die Niaudet'schen Maschinen bisher keine grosse Verbreitung gefunden, da bei Anwendung von der gleichen Menge von Kupferdraht und von Magneten derselben Stärke wie bei anderen Maschinen, ihre Leistungsfähigkeit hinter den letzteren weit zurückbleibt.

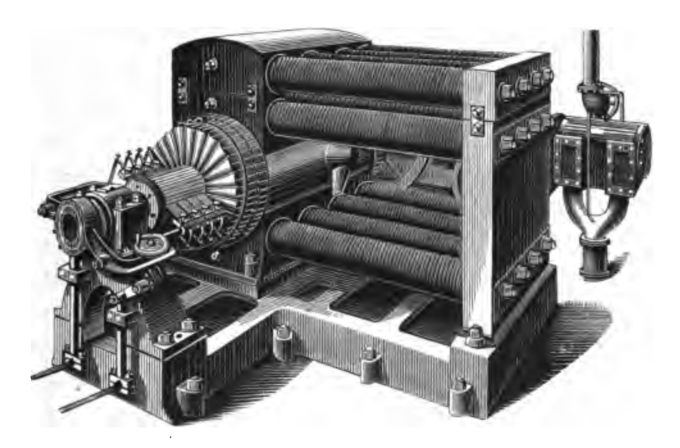
Eine dynamoelektrische Maschine, welche sich durch ihre Dimensionen von allen bisher construirten Maschinen auszeichnet und auch durch ihre praktische und den theoretischen Gesetzen entsprechende Construction in der That die Aufmerksamkeit des Technikers verdient, ist die in Fig. 47 abgebildete

Dynamoelektrische Maschine von Edison. Die Abbildung (Fig. 47) zeigt eine der 12 grossen Maschinen, welche gegenwärtig in New-York in einer Centralstation aufgestellt sind, von welcher aus ein ganzer Stadttheil den Strom für die in den Häusern dieses Stadttheils einzuführende Incandescenz-Beleuchtung erhält.

Die Armatur der Edison'schen Maschine ist ein Siemens'scher Cylinder-Inductor, welcher jedoch in seiner Construction etwas modificirt ist.

Der Kern des Cylinders besteht aus Eisenplatten, die hintereinander auf der Axe befestigt sind, jedoch nicht dicht aneinander liegen, sondern durch Seidenpapier von einander isolirt sind, wodurch die Foucault schen Ströme vermieden werden. Die Kupferbekleidung

Fig. 47.



der Armatur besteht nicht aus isolirten Drähten, wie in den meisten derartigen Maschinen, sondern ähnlich wie in der erwähnten Siemens'schen Maschine für Reinmetall-Gewinnung aus starken Kupferbarren, die einen trapezoidalen Querschnitt haben und die von dem Eisenkerne und von einander nur durch Luft isolirt sind. Jeder Barren ist an der vorderen Seite mit einer Kupferscheibe in Verbindung, welche denselben Durchmesser hat, wie die Scheiben, aus denen der eiserne

Kern besteht; diese Scheibe ist wiederum mit einem dem ersten Barren diametral gegenüberliegenden Barren in Verbindung, welcher seinerseits zu einer an der hinteren Seite des Cylinders befindlichen Kupferscheibe führt; diese Kupferscheibe ist mit einem dritten Barren in Verbindung u. s. w., so dass alle Barren und Kupferscheiben zusammen eine ununterbrochene Leitung darstellen. Die Kupferscheiben sind natürlich, ebenso wie die Barren, von einander isolirt und bilden mit den Kernscheiben zusammen einen soliden Cylinder, wodurch die Dauerhaftigkeit der Armatur bedeutend erhöht wird. Der besondere Vortheil, den diese Kupferscheiben bieten, ist der, dass durch Anwendung derselben der innere Widerstand der Maschine auf ein Minimum reducirt wird, und zwar besonders an den Seiten der Armatur, auf welche die Magnete keine inducirende Wirkung ausüben können, d. h. an der vorderen und hinteren Seite des Cylinders, wo also die Kupferbekleidung keinen Nutzen bietet, sondern durch ihren Widerstand nur hindernd wirkt und ein nothwendiges Uebel ist, dessen Schädlichkeit durch die Edison'schen Scheiben sehr vermindert wird.

Um die mit der Axe des Cylinders parallel laufenden Barren gegen die schädlichen Wirkungen der Centrifugalkraft zu schützen, welche während der Rotation der Armatur auftreten, werden dieselben an verschiedenen Stellen durch Drähte zusammengehalten.

Der Cylinder-Inductor der abgebildeten Maschine hat einen Durchmesser von 27·8″ und eine Länge von 61″ ohne den Commutator, 79″ mit dem Commutator. Der Durchmesser des Commutators beträgt $12^3/_4$″. Die

Stahlaxe, um welche die Armatur rotirt, hat eine Länge von 10′ 3″ und einen Durchmesser von $6^1/_2$″. Alle diese Dimensionen zeigen, dass die Armatur von äusserst solider Construction ist und dass Betriebsstörungen in Folge dessen nicht so oft auftreten werden, wie in Maschinen von mehr complicirter Form.

Unter den Lagern, in welchen sich die Axe dreht, circulirt fortwährend Wasser, um die Ueberhitzung derselben zu vermeiden, und ausserdem sind Vorrichtungen zur Selbstölung der Maschine angebracht, die das Oel an der Axe entlang führen, während Oeffnungen in den Rinnen dazu dienen, es abzuleiten, ehe es an den Commutator gelangt, wo es sonst durch seine isolirende Wirkung die elektrische Leitung zwischen dem Commutator und den Bürsten stören würde.

Die inducirenden Magnete bestehen aus 12 cylindrischen Kernen aus weichem Eisen, die nach dem dynamoelektrischen Principe ihren Magnetismus erhalten und durch vier Verbindungsstücke an ihrer einen Seite mit einander vereinigt sind. Acht dieser Eisenkerne enden in einem oberen Polstücke und vier derselben in einem unteren Polstücke, zwischen deren halbcylinderförmigen Ausschnitten die Armatur rotirt.

Die Breite der Polstücke beträgt 49″ und ihre Höhe $61^1/_2$″, die Länge der Kerne aus weichem Eisen 57″, der Durchmesser der acht oberen Kerne 8″ und der vier unteren Kerne 9″. Die Verbindungsstücke sind 11″ breit und 9″ dick, und die Gesammtlänge der inducirenden Magnete beträgt 94″.

Das System der inducirenden Magnete ist von der Erde durch eine 3″ dicke Zinkplatte isolirt.

Das Gewicht der einzelnen Theile der Maschine vertheilt sich wie folgt:

| | | |
|---|---|---|
| Inductor mit Axe . . . . | 9.800 | Pfd. |
| Lagerstücke . . . . . . . . | 1.340 | » |
| Das System der inducirenden Magnete . . . . . . . | 33.000 | » |
| Zinkbasis . . . . . . . . . . | 680 | » |
| Totalgewicht . | 44.820 | Pfd. |

Auf das Kupfer kommen 3440 Pfd., und zwar

| | | |
|---|---|---|
| wiegen die Kupferbarren der Armatur . . | 590 | Pfd. |
| die Kupferscheiben der Armatur . . . . | 1350 | » |
| die Drahtumwindungen der Magnete . . . | 1500 | » |

---

## III.

## Vorzüge und Schattenseiten der verschiedenen Gattungen von elektrischen Maschinen.

Nachdem der Leser durch die Lectüre der beiden vorhergehenden Capitel eine allgemeine Anschauung von der Construction der verschiedenen elektrischen Maschinen gewonnen hat, wird er natürlich die Frage stellen: »Welches sind die comparativen Vorzüge der einzelnen Gattungen von Maschinen und welches sind die individuellen Vorzüge der einzelnen Maschinen?«

Wenn wir die den Capiteln I und II zu Grunde liegende Eintheilung beibehalten, so lässt sich der erste Theil der Frage etwa beantworten wie folgt.

Die Maschinen, welche Wechselströme erzeugen, sind wohl die einzig brauchbaren Maschinen für die elektrische Beleuchtung durch die Kerzen von Jablochkoff, Jamin u. s. w. und sie sind stets anderen Maschinen vorzuziehen, wenn es sich weniger um eine vortheilhafte Ausnützung der aufgewendeten Kraft, als um ein gleichmässiges Abbrennen der Kohlenspitzen in den elektrischen Lampen und auf ein Vermeiden von remanentem Magnetismus in den Elektromagneten dieser Lampen handelt. Es finden daher diese Maschinen in ihrer verbesserten Form, — so z. B. die Maschinen von de Méritens (siehe Seite 38), für Leuchtthürme eine ausgedehnte Verwendung.

Wenn es sich dagegen darum handelt, hauptsächlich eine grosse Bodenfläche zu beleuchten, wie es bei der Strassenbeleuchtung oder in grossen Sälen verlangt wird, sind die Maschinen, welche continuirliche Ströme von gleicher Richtung erzeugen, vorzuziehen, da gerade das ungleichmässige Abbrennen der Kohlenspitzen in den Lampen in diesen Fällen einen Vortheil bietet, weil, wenn die Kohlenspitzen eine perpendiculäre Stellung haben und die obere Kohlenspitze den Nordpol repräsentirt, der an dieser Kohlenspitze sich bildende Krater einen wirksamen Reflector bildet, welcher einen grossen Theil der erzeugten Lichtstrahlen nach unten sendet und so einen anderen Reflector fast unnöthig macht. Ebenso sind die Maschinen für continuirliche Ströme, wie zahlreiche Experimente beweisen, überall

vorzuziehen, wo man einen möglichst grossen Nutzeffect von den Maschinen erzielen will, da diese Maschinen unter gleichen Verhältnissen von Widerstand und Rotations-Geschwindigkeit etwa 35% mehr Effect im Lichtbogen geben, als die Wechselstrom-Maschinen. Ausserdem werden die Maschinen für continuirliche Ströme überall da anzuwenden sein, wo man so wie so Ströme gleicher Richtung gebraucht, wie z. B. zum Zwecke der Galvanoplastik oder Reinmetall-Gewinnung; denn Wechselstrom-Maschinen, deren Ströme durch Commutatoren gleichgerichtet werden müssen, stehen unter gleichen Bedingungen meistens in ihren Leistungen hinter anderen Maschinen zurück, weil durch den Commutator nicht nur ein starker Procentsatz des Stromes verloren geht, sondern auch weil der Commutator sich, wie bereits erwähnt, sehr schnell durch die an ihm stattfindende Funkenbildung abnützt, wodurch stets Betriebsstörungen verursacht werden.

Wenn man die elektrischen Maschinen in magnetelektrische und in dynamoelektrische Maschinen eintheilt und diese beiden Classen mit einander vergleicht, so muss man zu dem Resultate gelangen, dass die magnetelektrischen Maschinen und besonders die magnetelektrischen Maschinen, deren inducirende Magnete durch Elektromagnete gebildet werden, ihrem Principe nach die vortheilhaftesten sind. Allem Anscheine nach werden daher diese magnetelektrischen Maschinen die dynamoelektrischen Maschinen mit der Zeit in den Hintergrund drängen.

In dem Folgenden wollen wir versuchen, die obigen Behauptungen zu begründen.

Was zunächst die Wechselstrom-Maschinen anbetrifft, so bedarf deren Nothwendigkeit für die Speisung der elektrischen Kerzen keines besonderen Beweises. Diese Nothwendigkeit geht aus der Construction der elektrischen Kerzen selbst hervor und gerade die allmählich grösser werdende Anwendung der elektrischen Kerzen zur Beleuchtung, durch die zum ersten Mal das Problem der sogenannten Lichttheilung erfolgreich gelöst wurde, machte die Construction von Wechselstrom-Maschinen nothwendig, so dass Constructeure wie Gramme und Siemens, deren Specialität eigentlich der Bau von Maschinen für gleichgerichtete Ströme ist, sich genöthigt sahen, ebenfalls Wechselstrom-Maschinen zu construiren, um nicht die Lieferung derartiger Maschinen anderen Constructeuren überlassen zu müssen, wodurch ihnen zur Zeit der Popularität der Jablochkoff'schen Kerze ein grosser materieller Vortheil entgangen sein würde. Jetzt freilich, nachdem die grosse Verbesserung der elektrischen Lampen anderer Construction, und besonders die Erfindung der Hefner-Alteneck'schen Differentiallampe, wie die elektrische Ausstellung in Paris bewiesen hat, die Jablochkoff'sche Kerze ganz in den Hintergrund gedrängt hat, werden auch die Wechselstrom-Maschinen einen Theil ihrer Bedeutung verlieren.

Dass die Wechselstrom-Maschinen in ökonomischer Hinsicht weit hinter den Maschinen für gleichgerichtete Ströme zurückbleiben, lässt sich unter Anderem auf der in Cap. VII abgedruckten Tabelle, welche dem »Report of the Trinity House« entnommen ist, erkennen, nach welcher der Strom der Alliance-Maschine trotz des bedeutenden Kostenpreises dieser Maschinen

und des verhältnissmässig grossen Umfanges derselben nur einen verdichteten Strahl von einer Leuchtkraft von 465, respective 543 Normalkerzen per Pferdekraft hervorbrachte, während der Strom der kleinen Siemens-Maschine Nr. 68 einen concentrirten Lichtstrahl von 2080 und die Gramme'sche Maschine Nr. 2 einen Strahl von 1257 Normalkerzen zu erzeugen im Stande war.

Es ist nicht zu leugnen, dass die neueren Wechselstrom-Maschinen weit bessere Resultate geben; in ökonomischer Hinsicht stehen sie jedoch immer noch sehr hinter den übrigen Maschinen zurück, und für die Mehrzahl von Arbeitsleistungen, die man von elektrischen Maschinen verlangt, sind Wechselströme so wie so unanwendbar, so dass auch dadurch dem Bau von Wechselstrom-Maschinen eine bestimmte Grenze gesetzt wird.

Wenden wir uns nun zu unserer Behauptung in Bezug auf die magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen, so hat die Erfahrung gelehrt, dass die letzteren grosse Unvollkommenheiten besitzen, für die eine radicale Abhilfe bis jetzt noch nicht gefunden wurde.

In den dynamoelektrischen Maschinen hängt nämlich, wie in der Einleitung erklärt wurde, der Magnetismus der inducirenden Magnete von der Stärke der Ströme, welche in den Armaturspiralen entstehen, ab, und da diese Stärke ihrerseits wieder von der grösseren oder geringeren Geschwindigkeit der Rotation abhängig ist, so schwankt die Intensität der magnetischen Felder mit jedem Wechsel in der Rotations-Geschwindigkeit, wodurch natürlich eine entsprechende Rückwirkung auf

die in den Armaturspiralen auftretenden Ströme veranlasst wird. Die Folge davon ist, dass die Stromstärke nicht constant bleiben kann, so lange nicht eine vollkommen gleichmässige Rotation der Armatur aufrecht erhalten wird, und dies ist selbst bei den besten Dampfmotoren oder anderen Motoren kaum möglich, da die Bewegung dieser Motoren nie ganz gleichmässig ist, und da besonders auch die gleichmässige Uebertragung der Bewegung durch Treibriemen u. s. w. grosse Schwierigkeiten macht. Eine jede Ungleichmässigkeit aber, wie sie z. B. durch das Gleiten des Treibriemens oder durch ähnliche Vorkommnisse entstehen kann, wird von einer correspondirenden Unregelmässigkeit in der Stromstärke der dynamoelektrischen Maschine begleitet.

Eine andere, noch fatalere Quelle von Störungen in der Stromstärke der dynamoelektrischen Maschinen sind die Veränderungen, welche in dem Widerstande der äusseren Leitung auftreten. Wird z. B. der Strom zur Erzeugung von elektrischem Lichte zwischen zwei Kohlenstäben benützt, so bringt jede Veränderung im Lichtbogen nicht nur eine gleiche, sondern eine proportional gesteigerte Veränderung in der Stromstärke der Maschine hervor.

Kurz ehe die Lampen in Gang gesetzt werden, sind die Kohlenspitzen in Berührung mit einander, es ist also ein verhältnissmässig geringer Strom nothwendig, um an ihrer Berührungsstelle ein Licht zu erzeugen. Bei einer gut construirten Regulatorlampe sollen nun, durch die in derselben enthaltenen kleinen Elektromagnete, die Kohlenspitzen sofort auseinander-

gezogen werden, wodurch die mittlerweile in der dynamoelektrischen Maschine durch die Rotation erzeugten starken Ströme sofort Verwendung finden. Springen die Lampenkohlen jedoch nicht sofort auseinander, so wächst die Intensität des magnetischen Feldes der in der Maschine vorhandenen inducirenden Pole mit jeder Drehung der Armatur und die Intensität desselben nimmt schnell eine solche Höhe an, dass die Armatur nur mit ausserordentlicher Kraft durch das magnetische Feld bewegt werden kann, was die Maschine oft sehr schnell zum Stillstehen bringt. Aber auch wenn die Kohlenspitzen der Lampe sofort auseinandergehen, ist die Stromstärke der Maschine dennoch fortwährenden Störungen ausgesetzt, da durch die automatische Regulirung der Lampe durch den Regulator eine continuirliche Rückwirkung auf die Maschine stattfindet, wodurch die Stromstärke in Schwanken geräth, und so ihrerseits wieder ein Schwanken in der Länge des Lichtbogens veranlasst.

Das Unangenehmste bei dieser Abhängigkeit der Stromstärke der Maschinen von dem variirenden Widerstande in der Leitung ist jedoch die Thatsache, dass die Stromstärke gerade dann geschwächt wird, wenn ein starker Strom am nöthigsten wäre, während sie wächst, wenn kein Bedürfniss für einen starken Strom vorhanden ist. So z. B. wenn durch das Abbrennen der Kohlenspitzen die Entfernung zwischen denselben zunimmt und der Lichtbogen grösser wird, wenn also zur Ueberwindung des grossen Widerstandes ein starker Strom nothwendig wäre, nimmt gerade dieses Widerstandes wegen die Stromstärke ab, während, wenn die

Kohlenspitzen einander sehr nahe stehen und ein geringer Strom genügen würde, die Stromstärke in der Maschine gesteigert wird.

Allerdings wird eine gute Regulatorlampe diese Vorkommnisse modificiren; keiner der bisher construirten Lichtregulatoren ist jedoch so vollkommen, dass durch ihn eine Störung in der Stromstärke der Maschine in den genannten Fällen ganz verhindert würde.

Andere Veränderungen des Widerstandes im Stromkreise, welcher Art sie auch sein mögen, wirken ebenso auf die Stromstärke der Maschine zurück, wie die Veränderungen im Lichtbogen. Wenn z. B. durch irgend einen Zufall Oel oder Schmutz zwischen die Bürsten und den Commutator gelangt, oder wenn die Contactschrauben in irgend welcher Weise verunreinigt werden, so wird der Widerstand im Stromkreise verstärkt und der Strom der Maschine geschwächt, und wenn auch eine sorgsame Aufsicht über die einzelnen Maschinentheile und grosse Reinlichkeit in der Handhabung derselben, sowie die Anwendung gleichmässig arbeitender Motoren einer regelmässigen Kraftübertragungs-Methode, und besonderer Schutzmassregeln, die genannten Vorkommnisse auf ein Mimimum herabzusetzen im Stande sind, so bleibt es doch eine Unvollkommenheit der dynamoelektrischen Maschine, dass die Intensität ihrer magnetischen Felder und folglich die Stromstärke mit dem Widerstande im Stromkreise schwankt. Durch welche Präventiv-Vorrichtungen diese Schwankungen modificirt werden können, werden wir im nächsten Capitel sehen; nicht vorhanden sind die-

selben jedoch in den magnetelektrischen Maschinen mit Stahlmagneten.

Die magnetischen Felder dieser Maschinen bleiben in ihrer Intensität unverändert und sind auch nicht von der Rotations-Geschwindigkeit des Inductors abhängig. Aber auch die magnetelektrischen Maschinen mit Elektromagneten, die ihren Strom von separaten Maschinen erhalten, sind wenigstens durch die Störungen im Stromkreise nicht beeinflusst, ein Umstand, der diesen Maschinen einen grossen Vorzug vor den dynamoelektrischen Maschinen verleiht.

Ein anderer Umstand, welcher berücksichtigt werden muss, ist der, dass, da in den dynamoelektrischen Maschinen die Intensität der magnetischen Felder der inducirenden Magnete zum grossen Theile von der Schnelligkeit der Rotation der Armatur abhängt, diese Intensität nur auf Kosten einer bedeutenden Wärmeproduction erzeugt werden kann, und wenn auch durch Fortlassen der eisernen Kerne der Armaturspiralen, wie dieses in den Siemens'schen Maschinen neuester Construction geschieht, diese Wärmeerzeugung bedeutend vermindert wird, so ist dennoch stets die Anwendung einer separaten Maschine zur Magnetisirung der inducirenden Magnete vorzuziehen. Es ist daher anzunehmen, dass gerade denjenigen magnetelektrischen Maschinen, welche ähnlich wie die auf Seite 85 ff. beschriebene Siemens'sche Maschine construirt sind, eine bedeutende Zukunft bevorsteht, während man den Gedanken, die inducirenden Magnete einer Maschine durch ihre eigenen Ströme zu erregen, mit der Zeit aufgeben wird.

Der zweite Theil der zu Anfang dieses Capitels erwähnten Frage bezieht sich auf die individuellen Vorzüge der einzelnen im Capitel I und II beschriebenen Maschinen, und diese Frage ist leider nicht so leicht zu beantworten, da, obgleich man aus der Construction der einzelnen Maschinen wohl allgemeine Schlüsse auf ihre Leistungsfähigkeit machen kann, dennoch zuverlässige Daten über die Brauchbarkeit derselben fehlen. Es existiren allerdings verschiedene Bücher und zahlreiche Berichte, welche scheinbar dem Leser Aufklärung über die Vorzüge oder Nachtheile der einzelnen Maschinen geben, jedoch enthalten dieselben meistens unkritische Compilationen, oder die in denselben enthaltenen Daten sind durch Privat- oder National-Interessen gefärbt, da sie entweder den Berichten der Constructeure über ihre eigenen Maschinen, oder den Berichten nationaler Comités entnommen sind, in denen natürlich Unparteilichkeit kaum zu erwarten ist. Ausserdem wechselt die Basis der Vergleichung der einzelnen Maschinen in fast allen bisher veröffentlichten Berichten, während nur ein internationales Comité, dem alle Mittel zur Verfügung ständen eine für die elektrotechnische Wissenschaft werthvolle Vergleichungstabelle aufzustellen im Stande wäre. Es ist sehr zu bedauern, dass während der elektrischen Ausstellung in Paris in dieser Hinsicht gar nichts gethan worden ist, obgleich doch gerade zu jener Zeit eine vergleichende Untersuchung der einzelnen Maschinen am Platze gewesen wäre; aber von wie grossem Nutzen diese Ausstellung auch in anderer Hinsicht für den Fortschritt der elektrotechnischen Wissenschaft gewesen

sein mag, es ist während derselben absolut nichts geschehen, um Licht in das mysteriöse Dunkel zu bringen, welches eine klare Vorstellung in Bezug auf die Leistungsfähigkeit der verschiedenen bisher construirten magnet- und dynamoelektrischen Maschinen nicht gestattet.

Da nichtsdestoweniger einige der von nationalen Comités und von wegen ihrer Ehrenhaftigkeit bekannten Constructeuren und Physikern aufgestellten Daten für den Techniker ein werthvolles Hilfsmittel bieten, so sind die hauptsächlichsten derselben in Cap. VII abgedruckt und erläutert.

---

# IV.

# Umschalter, Stromregulatoren und Secundär-Batterien.

Um die im vorigen Capitel geschilderten äusserst fatalen Störungen, welche in Folge von Veränderungen im äusseren Stromkreise in dem Gange der dynamoelektrischen Maschinen stattfinden können, zu vermeiden, hat man auf Mittel gedacht, durch welche es möglich wird, die Maschinen von dem äusseren Stromkreise temporär unabhängig zu machen und ihren Strom zu reguliren.

Zu diesen Mitteln gehören die sogenannten Umschalter, durch welche entweder von einem Aufseher,

oder automatisch ein künstlicher Widerstand in die Leitung eingeschaltet wird, wenn aus irgend einer Ursache die äussere Leitung unterbrochen wird. Auf diese Weise wird z. B. die grosse Gefahr vermieden, welche dadurch für die Maschine entstehen kann, dass die mit dem Betriebsmotor verbundene Armatur in eine ungewöhnlich schnelle Rotation versetzt wird, wenn der Widerstand im Stromkreise auf ein Minimum sinkt.

Solche Umschalter werden von Siemens, Sawyer und anderen Constructeuren angewendet. Der Siemens-sche Umschalter beruht auf der Anwendung eines kleinen Extramagnets, durch dessen Spiralen man den Strom leitet, wenn die Maschine in regulärem Gange ist, und der während dieser Zeit einen Anker festhält, welcher mit einem Extrastromkreis verbunden ist. So wie der Strom in der äusseren Leitung unterbrochen wird, reisst eine Feder die Armatur von dem Magnete los, dieser schliesst den Extrastromkreis, welcher denselben Widerstand hat, wie der äussere Stromkreis, und es geht der Strom nunmehr durch den Extrastromkreis der Maschine.

Der Construction der meisten Umschalter liegt ein ähnliches Princip zu Grunde.

Ein anderes Mittel, um die Rotation der Armatur und die Stromstärke nach Bedürfniss zu reguliren, bietet der Hiram Maxim'sche Stromregulator, welcher auf der elektrischen Ausstellung in Paris grosses Interesse erregte, und der mit der Maschine in Figur 43 abgebildet ist.

Die Elektromagnete der Maxim'schen Lichtmaschinen werden, wie bereits erwähnt, durch kleine

Extramaschinen gespeist. Um nun den Elektromagneten je nach Bedürfniss einen schwachen oder starken Strom zuzuführen und so den Strom der Lichtmaschine selbst zu reguliren, sind die Collectorbürsten der Hilfsmaschine an einem Träger befestigt, mit welchem sich die Bürsten um den Collectorcylinder drehen können. Je nach der mehr oder weniger vortheilhaften Stellung der Bürsten in Bezug auf die Collectorsegmente wechselt natürlich auch die Stärke des durch sie abgeleiteten Stromes und dieser wiederum beeinflusst die Stromstärke der Lichtmaschine. Um nun diese Beeinflussung dem Bedürfnisse der Lichtmaschine anzupassen, wird der Strom derselben zu einem mit dem Regulator der Extramaschine verbundenen Elektromagnet geleitet, und tritt alsdann nach Schellen (Die magnetelektr. und dynamoelektr. Maschinen. S. 509) folgende Wirkung ein: »Der Elektromagnet hebt mittelst seines zwischen zwei Stellschrauben auf- und niedergehenden Ankerhebels eine Schiebklaue und bringt diese zum Eingriffe mit dem unteren, beziehungsweise dem oberen von zwei Schiebrädern. Die Schiebklaue wird von einer oscillirenden Stange hin und herbewegt, welche von einer kleinen Kurbel geführt wird, die selbst durch die Axe des Erregers eine verhältnissmässig langsam rotirende Bewegung erhält. Greift also die Schiebklaue in ein Schiebrad ein, so überträgt dieses bei der erfolgenden schrittweisen Drehung ihre Bewegung auf eine horizontale Axe, von welcher sie durch ein Paar Kegelräder auf den Bürstenträger der erregenden Maschine fortgepflanzt wird. Letzterer wird demnach in der einen oder der anderen Richtung gedreht, wenn der lichtgebende Strom

zu stark oder zu schwach, der Anker des Elektromagnets am Regulator mehr oder weniger abwärts gezogen und demnach das untere oder das obere Schiebrad gedreht wird; damit wird auch zunächst der erregende und weiter auch der Licht erzeugende Strom geschwächt oder gestärkt.«

Eine sehr wirksame Methode, eine plötzliche Steigerung des Stromes der dynamoelektrischen Maschinen zu verhindern, wenn der Widerstand im äusseren Stromkreise durch irgend welche Umstände geschwächt werden sollte, ist die zuerst von Wheatstone in England angerathene und von Siemens mit grossem Erfolge angewandte Extraschaltung der Elektromagnete.

Diese Methode besteht darin, dass man bei den Lichtmaschinen z. B. nur die Lampen, die Armaturspiralen und die Leitungsdrähte zu einem Hauptstromkreise vereinigt, und die Elektromagnete in eine Zweigleitung einschaltet. Wird alsdann der Widerstand im äusseren Stromkreise gleich Null, so gelangt nur ein ganz geringer Zweig des Stromes in die Elektromagnetspiralen und da die inducirende Wirkung der Elektromagnete somit geschwächt wird, fällt auch gleichzeitig die Stromstärke.

Brush umgiebt, um die Einwirkungen der Vorgänge im äusseren Stromkreise auf die Magnete zu verhindern, die letzteren in einigen seiner Maschinen noch mit einer zweiten Spirale von ganz dünnem Draht, welche mit den Collectorbürsten in Verbindung steht und so einen Nebenschluss bildet. Hierdurch wird die Intensität des magnetischen Feldes allerdings in gewisser

Weise ebenfalls von dem äusseren Stromkreise unabhängig.

Alle diese Regulirungsmethoden haben jedoch bis jetzt noch keine absolut zuverlässige Abhilfe geschaffen und der Strom der dynamoelektrischen Maschinen würde bei den erwähnten Methoden stets mehr oder weniger von den Vorgängen im äusseren Stromkreise abhängig bleiben, und so rückwirkend ungleichmässige Erscheinungen im Stromkreise hervorrufen, wenn nicht vor Kurzem ein Fortschritt in der Elektrotechnik gemacht worden wäre, durch welchen es möglich wird, die directe Verbindung der elektrischen Maschinen mit dem Stromkreis, in welchem man die Umsetzung der Elektricität in Arbeit wünscht, nöthigenfalls ganz aufzuheben. Dieser Fortschritt ist die Anwendung der verbesserten Secundär-Batterien als Elektricitäts-Reservoir.

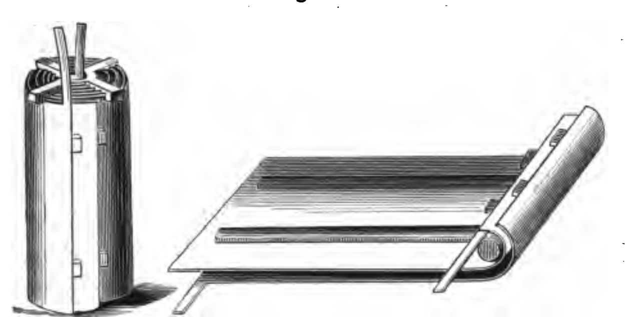
Wenn man zwei Platin-Elektroden, welche sich in Schwefelsäure befinden, nachdem der Strom dieselben passirt hat, mit einem Galvanometer verbindet, so erkennt man, dass zwischen ihnen ein Strom von einer dem früheren Strome entgegengesetzten Richtung circulirt. Dieser Strom wird ein Polarisationsstrom genannt, und wurde zuerst von Gautherot im Jahre 1802 beobachtet; er entsteht dadurch, dass an der einen Elektrode Wasserstoff, an der andern Elektrode dagegen Sauerstoff auftritt, und dass diese Gase, indem sie sich an den Metallflächen festsetzen und theilweise in das Metall eindringen, den Elektroden ein verschiedenes Potential verleihen. So wie man die letzteren dann metallisch miteinander verbindet, circulirt zwischen

ihnen der Strom, welcher das elektrische Gleichgewicht wieder herzustellen trachtet.

Dieser Polarisationsstrom ist zuweilen sehr energischer Natur, und bereits im Jahre 1803 construirte der deutsche Physiker Ritter in Jena eine Art Volta'sche Säule, in der nur ein Metall zur Anwendung kam und deren Endscheiben durch Polarisation in Elektroden verwandelt wurden.

Diese Ladungssäule von Ritter kann man als die erste Secundär-Batterie oder den ersten elektrischen Accumulator ansehen. Das Verdienst jedoch, die erste Anwendung der Polarisirung der Elektroden zur Construction einer wirksamen und in der Praxis verwerthbaren Batterie verwendet zu haben, gebührt dem französischen Physiker Planté, welcher im Jahre 1859 eine secundäre Batterie construirte, deren Wirksamkeit auf der chemischen Zersetzung des Bleies beruhte.

Fig. 48.



Planté's Element (Fig. 48) wird auf die folgende Weise angefertigt. Ein ziemlich breiter Streifen aus gewalz-

tem Blei wird auf einen anderen Streifen von derselben Grösse gelegt, so dass beide Streifen sich decken. Um jedoch eine gegenseitige Berührung der Streifen zu vermeiden, legt man zwischen den unteren und oberen Streifen zwei etwa 1 Cm. breite und 0·5 Cm. dicke Kautschukbänder von derselben Länge wie die Bleistreifen, und nachdem man auf den oberen Bleistreifen zwei ebensolche Kautschukbänder gelegt hat, rollt man die beiden Streifen um einen Holzcylinder und erhält auf diese Weise nach Entfernung des Holzcylinders eine Spirale, in welcher die beiden Metallstreifen vollkommen von einander isolirt sind. Um dem Systeme eine grössere Festigkeit zu verleihen, wird die Bleispirale an ihrem einen Ende durch Guttapercha-Klammern zusammengehalten. Die Anfertigung des Elementes wird vollendet, indem man diese Bleirolle, deren beide Bleistreifen mit je einem Poldraht (oder Streifen) versehen sind, in ein cylindrisches Gefäss, welches mit einem Deckel von Hartgummi verschlossen wird, einsetzt. Der Deckel ist mit Oeffnungen für die Poldrähte und einer Oeffnung zum Einfüllen der für das Element bestimmten Flüssigkeit versehen. Die reagirende Flüssigkeit ist 10 Procent Schwefelsäure haltendes Wasser.

Wenn man nun die Pole eines auf diese Weise construirten Elementes mit den Polen von zwei gekoppelten Bunsen'schen Elementen verbindet und einen Strom durch das Planté'sche Element circuliren lässt, so bildet sich in der verdünnten Schwefelsäure am Blei als Anode Superoxyd ($Pb\,O_2$); an der Kathode wird dagegen das Blei durch den nascirenden Wasserstoff als metallisches Blei reducirt. Die letztere bekommt demnach eine

graue körnige Oberfläche, während die erstere mit einem braunen Ueberzug versehen wird.

Entfernt man nun, nachdem man den Strom der Bunsen'schen Elemente eine Zeit lang hat arbeiten lassen (man lässt denselben nur so lange durch das Planté'sche Element circuliren, bis sich an der Anode Sauerstoffbläschen zeigen), die Bunsen'sche Batterie und verbindet man die Pole des Planté'schen Elements, so entsteht ein kräftiger Polarisationsstrom. Der Sauerstoff des Superoxydes zieht nun nämlich mächtig den Wasserstoff der Schwefelsäure an und das Superoxyd desoxydirt sich, während der freigewordene Sauerstoff bei dem Blei Aufnahme findet, welches zuvor die Kathode bildete und nun dort Superoxyd formirt. Der Strom dauert so lange, als die Kathode Sauerstoff aufnimmt. Hört der Strom auf, so kann man die Bedingungen zu einem neuen Strom wieder durch neue Ladung mit Bunsen'schen Elementen erhalten, und da die Entladung nicht sogleich, sondern im gewünschten Falle erst nach mehreren Tagen vorgenommen werden kann, so hat man in der That in dem Planté'schen Elemente ein Reservoir für Elektricität.

Dieses Element ist jedoch nicht sofort im Stande, eine grosse Ladung aufzunehmen, sondern die Leistungsfähigkeit des Elementes steigt erst durch oftmalige Ladung und Entladung zu einer brauchbaren Höhe. Das Element muss, wie Planté sich ausdrückt, erst »formirt« werden, und dieses »Formiren« der Planté'schen Elemente ist ein langwieriger und mühsamer Process.

Bei der ersten Ladung bildet sich nur eine geringe Menge von Superoxyd, demgemäss erhält man

bei der Entladung einen Strom von nur geringer Dauer. Nur muss man die Pole umkehren, d. h. den früheren negativen Pol oxydiren und den früheren positiven reduciren. Jetzt nimmt der reducirte Bleistreifen den Sauerstoff auf und es bildet sich an ihm Superoxyd, während die zuvor oxydirte Platte durch den Wasserstoff sauerstofffrei wird. Dieser Umkehrungsprocess muss nach Planté's Angabe oft wiederholt werden. Am ersten Tage muss man sechs bis acht Mal, mit einer Viertelstunde anfangend bis zu einer Stunde aufsteigend, laden und entladen; dann lässt man das Element über Nacht geladen stehen. Am zweiten Tage entladet man und ladet es alsdann umgekehrt zwei Stunden lang, entladet wieder, ladet alsdann aufs Neue in umgekehrter Weise und lässt nun das Element acht Tage lang geladen stehen. Nach acht Tagen wird es wieder, ohne umzukehren, einige Stunden lang geladen, dann 14 Tage lang geladen stehen gelassen u. s. w. Auf diese Weise verbessert sich das Element immer mehr, die Menge des gebildeten Superoxydes wird grösser und die Dauer des Polarisationsstromes nimmt in Folge dessen zu. Mit einem gut formirten Planté'schen Elemente kann man einen starken Platindraht von 1 Mm. Durchmesser glühend machen und 10 Minuten lang glühend erhalten, und einen Platindraht von $^1/_{10}$ Mm. sogar eine Stunde lang glühen lassen.

Die spiralförmige Gestalt der Elektroden giebt dem Planté'schen Elemente einen sehr geringen Widerstand und eine sehr grosse elektromotorische Kraft, und ist das Element demnach sehr vortheilhaft construirt. Die Leistungen des Elementes würden demselben

unzweifelhaft eine grosse Anwendung in der Praxis gesichert haben, wenn nicht die »Formirung« das grosse Hinderniss gebildet hätte. Diese »Formirung« war der Grund, dass man ausser zu galvanokaustischen Zwecken die Planté'schen Elemente kaum praktisch anwendet, obgleich dieselben eine äusserst bequeme Elektricitätsquelle bilden, wenn sie einmal formirt sind.

Das Verdienst, die Formirung durch einen kürzeren Process unnöthig gemacht zu haben, gebührt einem Franzosen Namens Faure, welcher zur Construction seiner Elemente das Blei gleich in pulverartigem Zustande anwendet. Sein Element besteht aus zwei Bleistreifen von 200 Mm. Breite, 600, respective 400 Mm. Länge und 1, respective 0·5 Mm. Dicke, auf welche er einen Brei von mit Wasser angerührter Mennige ($Pb_2 O_4$) möglichst dick aufträgt. Auf die grosse Platte trägt er 800 Gr., auf die kleine 700 Gr. Mennige auf. Um die breiartige Masse auf den Metallstreifen festzuhalten, legt er auf dieselbe einen Streifen von Pergamentpapier und darauf einen Filzstreifen. Das ganze System wird alsdann gerade so wie das Planté'sche Element aufgerollt und in ein mit Mennige und Filz bekleidetes bleiernes Gefäss*) gesenkt, an welchem das eine Polstück angelöthet ist und das somit an der Wirkung Theil nimmt. Die Flüssigkeit ist dieselbe wie bei dem Planté'schen Elemente, d. h. in einem Verhältnisse von 1:8 oder 1:10 verdünnte Schwefelsäure.

Wenn das Element fertig ist und man einen Strom durch dasselbe leitet, so bildet sich zuerst, nach

*) In neuerer Zeit verwendet Faure auch Glasgefässe (vergl. Figur 49).

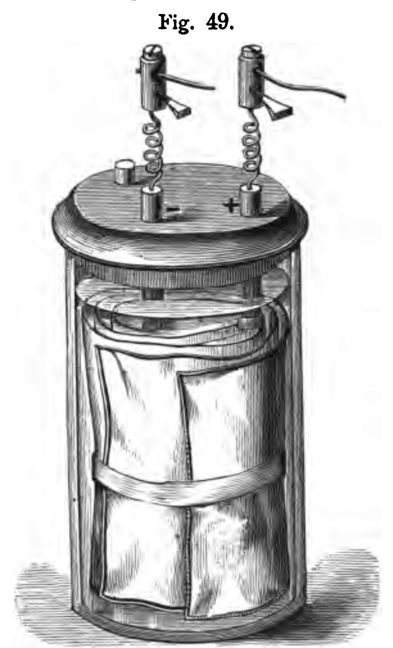
der Angabe von Dr. Aron (E. Z., Juni 1882), an der äussersten Schichte der Mennige eine sehr dünne Lage Bleisuperoxyd und schwefelsaures Blei, die alsdann einerseits zu Blei reducirt wird, während andererseits reines Bleisuperoxyd entsteht. Dann aber wird die darunter liegende Schichte der Mennige angegriffen u. s. w., bis nach und nach eine Fläche entsteht, die eine grosse Ladung aufzunehmen im Stande ist.

Eine zwei- bis dreimalige Ladung des Elementes genügt, um dasselbe zum Gebrauche fertig zu machen, und die Schichte von Mennige auf der einen Elektrode hat sich alsdann vollständig in Superoxyd verwandelt, während die Mennige auf der anderen Elektrode aus reducirtem Blei besteht.

Was die Leistungsfähigkeit der Faure'schen Batterien anbetrifft, so lagen bis zu Anfang dieses Jahres sehr wenig verlässliche Daten vor, und während man auf der einen Seite die Faure'sche Verbesserung der Planté'schen Batterie durch lächerliche Reclamen im letzten Jahre in den Himmel erhob, behandelten auf der anderen Seite die Physiker die Faure'sche Batterie gerade in Folge dieser, einer wissenschaftlichen Erfindung unwürdigen Marktschreierei, zu geringschätzig. Einer der ersten Fachgelehrten, welcher den Werth der Faure'schen Batterie in gewissenhafter Weise zu ermitteln suchte, war Herr Frank Geraldy, der die Resultate seiner im Verein mit Herrn Hospitalier angestellten Versuche in dem elektrischen Fachjournale: »La Lumière électrique« veröffentlichte und nachwies, dass ein Planté'sches Element beinahe ebenso leistungsfähig ist wie ein Faure'sches Element gleichen

Gewichtes. Der Vorzug des Faure'schen Elementes im Gegensatze zu dem Planté'schen besteht aber darin, dass ersteres beinahe gleich nach seiner Anfertigung zum Gebrauche fertig ist, während das letztere einer mühsamen »Formirung« bedarf.

Fig. 49.



Gegenwärtig hat man glücklicher Weise zuverlässige Daten über den Werth und die Leistungsfähigkeit der Faure'schen Elemente neuester Construction. Diese Daten werden gegeben in der erwähnten Zeitschrift »La Lumière électrique«, VI. Band, Nr. 10,*) in welcher ein ausführlicher Bericht über die

*) Vergl. E. Z., April 1882.

## Tabelle I, Ladung der Batterie.

| Tag und Dauer der Versuche | Mittlere Geschw. der elektr. Maschine. Umläufe i. d. Min. | Mechanische Arbeit, gemessen durch das Dynamometer in Kgm. | Mittlere Potential-Differenz der Batterie in Volt | Mittlere Intensität des Ladungsstromes in Ampère | Mittlere Intensität des Erregungsstromes in Ampère | Menge der von der Batterie aufgenommenen Elektricität in Coulomb | Elektrische Arbeit bei der Ladung (in Kilogrammmetern) | Elektrische Arbeit bei der Erregung (in Kilogrammmetern) | Elektrische Arbeit im Anker (in Kilogrammmetern) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4. Jan. 5 St. 30 M. | 1079 | 2414907 | 82·81 | 10·93 | 2·46 | 216400 | 1814600 | 408400 | 94400 |
| 5. » 7 » — » | 1072 | 2772292 | 91·08 | 7·97 | 2·81 | 200800 | 1947100 | 676300 | 79100 |
| 6. » 7 » 30 » | 1083 | 3246871 | 92·91 | 7·94 | 2·83 | 214300 | 2028800 | 596100 | 76800 |
| 7. » 2 » 45 » | 1085 | 1135728 | 92·06 | 6·36 | 2·18 | 63000 | 591600 | 202800 | 19500 |
| 22 St. 45 M. | | T = 9569798 | | | | 694500 | T′ = 6382100 | T″ = 1883600 | T‴ = 269800 |
| | | t = 8088750 | | | | | | | |
| | | 8761048 | | | | | | | |

## Tabelle II, Entladung der Batterie.

| Tag und Dauer des Versuches | Mittlere Kraft d. Batterie in Volt | Mittlere Stärke des Stromes in Ampère | Menge d. Elektricität in Coulomb | Geleistete (äussere) elekt. Arbeit i. Kgm. |
|---|---|---|---|---|
| 7. Januar 7 St. 19 Min. | 61·39 | 16.128 | 424800 | 2608000 |
| 9. » 3 » 20 » | 61·68 | 16.235 | 194800 | 1201000 |
| 10 St. 39 Min. | | | 619600 | 3809000 |

von einer französischen Commission mit Faure'schen Batterien im »Conservatoire des Arts et Métiers« gemachten Experimente enthalten ist.

Die Commission bestand aus den Herren Allard, Blanc, Joubert, Potier und Tresca, und wurde eine auf die Versuche bezügliche Denkschrift auch am 10. März d. J. der französischen Akademie der Wissenschaften vorgelegt.

Die der Commission zur Verfügung gestellte Batterie war aus 35 Faure'schen Elementen neuester Construction zusammengesetzt; jedes Element wog sammt Flüssigkeit 43·7 Kg.; die Bleielektroden waren mit Mennige bedeckt, im Verhältniss von etwa 1 Kg. auf den Quadratmeter. Die Flüssigkeit bestand aus etwa 10 Volumenprocent Schwefelsäure haltendem destillirten Wasser. Die von Faure zur Verfügung gestellte Maschine war eine Siemens'sche dynamoelektrische Maschine.

Der Widerstand der Armatur betrug 0·27 Ohm, der der inducirenden Magnete 19·45 Ohm. Die Spiralen der letzteren wurden durch einen Zweigstrom gespeist. Durch einen von Faure angewandten Regulirungs-Apparat wurde der Erregungsstrom während der ganzen Dauer der Versuche auf einer Stärke erhalten, die zwischen 2 und 5 Ampère schwankte.

Der Zweck der Versuche war, zu messen:

1. die mechanische Arbeit, welche zur Ladung der Batterie nothwendig ist;

2. die Menge der Elektricität, welche während der Ladung aufgespeichert wird;

3. die elektrische Arbeit, welche während der Entladung wirklich geleistet wird.

Zu diesem Zwecke musste man auch fortwährend die elektromotorische Kraft und den Widerstand der Batterie controliren, und da der Strom durch eine Anzahl von Maxim'schen Incandescenz-Lampen geleitet wurde, galt es auch, die Veränderung des Widerstandes und der Leuchtkraft dieser Lampen stets im Auge zu behalten, da diese Veränderungen einen Schluss auf die Intensität des Stromes zu machen gestatteten.

Die Messungen der mechanischen Arbeit wurden vermittelst eines Easton-Anderson'schen Dynamometer-Totalisators vorgenommen. Zur Messung der Lichtstärken diente ein Foucault'sches Photometer. Die elektrischen Messungen wurden vorgenommen mit Hilfe eines Deprez'schen Galvanometers, mit welchem der ganze Strom, und von Zeit zu Zeit der Erregungsstrom gemessen wurde, eines Siemens'schen Elektrodynamometers, mit welchem man nur den Ladungsstrom mass, und eines, nach der Methode von Joubert mit Gradeintheilungen versehenen Elektrometers, welcher dazu benutzt wurde, den Unterschied des Potentials zwischen beiden Polen der Batterie zu bestimmen.

Die Angaben aller Instrumente wurden Anfangs von Viertelstunde zu Viertelstunde und während der letzten Periode des Versuches alle $7^1/_2$ Minuten abgelesen.

## Mittlere Intensität und Elektricitätsmenge.

Die einer gewissen Zeitdauer entsprechende mittlere Intensität ist das arithmetische Mittel der alle Viertelstunden bestimmten Intensitäten.

Das Product aus der Zahl der verflossenen Secunden und der in Ampère ausgedrückten mittleren Intensität giebt die während der betreffenden Zeit auftretende Elektricitätsmenge in Coulomb:

| Tag | Mittlere Intensität | Secunden | Coulomb |
|---|---|---|---|
| 4. Januar . . . . | 10·930 | 19800 | 216400 |
| 5. » . . . . | 7·970 | 25200 | 200800 |
| 6. » . . . . | 7·936 | 27000 | 214300 |
| 7. » . . . . | 6·360 | 9900 | 63000 |

Um richtige Schlüsse ziehen zu können, muss man auch dieselbe Berechnung in Bezug auf den Erregungsstrom machen:

| Tag | Mittlere Intensität | Secunden | Coulomb |
|---|---|---|---|
| 4. Januar . . . . | 2·46 | 19800 | 48700 |
| 5. » . . . . | 2·81 | 25200 | 72800 |
| 6. » . . . . | 2·33 | 27000 | 62900 |
| 7. » . . . . | 2·18 | 9900 | 21600 |

## Berechnung der elektrischen Arbeit.

So lange als die Potential-Differenz zwischen den beiden Polen der Batterie unverändert bleibt, ist die elektrische Arbeit, welche zur Ladung der Batterie aufgewendet wird, gleich dem Producte aus der Elektricitätsmenge und der Potential-Differenz, dividirt durch die Beschleunigung der Schwere $g$. Wenn diese Differenz sich verändert, muss man jede beobachtete Intensität mit der entsprechenden Potential-Differenz

multipliciren, wieder mit $g$ dividiren und das arithmetische Mittel aller Resultate nehmen.

Auf diese Weise wurden die Zahlen der Spalten 8 und 9 in Tabelle I und diejenigen der Spalte 5 in Tabelle II berechnet.

Spalte 8 giebt die elektrische Arbeit $T'$ an, welche verwendet wurde, um die Menge von Elektricität in die Batterie zu führen, mit welcher die letztere geladen wurde.

Elektrische Arbeit während der Ladung.

| Tag | Potentialdifferenz | Menge der Elektricität | Arbeit |
|---|---|---|---|
| 4. Januar . . . | 82·21 | 216400 | 1814600 |
| 5. » . . . | 91·08 | 200800 | 1947100 |
| 6. » . . . | 92·91 | 214300 | 2028800 |
| 7. » . . . | 92·06 | 63000 | 591600 |
| | | | 6382100 |

Spalte 9, Tabelle I, zeigt die Arbeit an, welche zur Erregung der Elektromagnete verwendet wurde.

Elektrische Arbeit zur Erregung.

| Tag | Potentialdifferenz | Menge der Elektricität | Arbeit |
|---|---|---|---|
| 4. Januar . . . | 82·21 | 48700 | 408400 |
| 5. » . . . | 91·08 | 72800 | 676300 |
| 6. » . . . | 92·91 | 62900 | 596100 |
| 7. » . . . | 92·06 | 21600 | 202800 |
| | | | 1883600 |

Spalte 10 zeigt den Werth der elektrischen Arbeit $T'''$ an der Armatur, welcher für jeden Tag

berechnet worden ist, indem man den Widerstand der Armatur 0·27 mit dem Quadrate der am Galvanometer beobachteten Totalintensität und mit der Anzahl der Secunden multiplicirte.

| Widerstand des Ringes | Strom-Intensität | Zahl der Secunden | Elektrische Arbeit am Anker |
|---|---|---|---|
| 0·27 | 13·29 | 19800 | 94400 |
| 0·27 | 10·78 | 25200 | 79100 |
| 0·27 | 10·26 | 27000 | 76800 |
| 0·27 | 8·54 | 9900 | 19500 |
| | | | 269800 |

Wenn man die Summe dieser verschiedenen elektrischen Arbeiten ermittelt, und dazu die direct gemessene Arbeit der Transmission $t$ addirt, so stellt sich heraus, dass zwischen ihr und der am Dynamometer abgelesenen Arbeit $T$ nur ein geringfügiger Unterschied von etwa 2 Procent existirt.

## Die elektromotorische Kraft und der Widerstand der Batterie.

Die elektromotorische Kraft der Batterie wird für den offenen Strom unmittelbar durch das Elektrometer angegeben. $E$ sei dieser Werth und $e$ die Angabe des Elektrometers, wenn der Strom geschlossen ist, $R$ sei der Widerstand der Batterie und $J$ die Intensität des Stromes, dann erhält man $e = E \pm R J$, je nachdem die Batterie geladen oder entladen wird.

Da man $E$, $e$ und $J$ für denselben Zeitpunkt kennt, so lässt sich der Gesammtwiderstand $R$ leicht finden.

Während der Ladung schwankte $E$ von 72 bis 75·8 Volt, d. h. für jedes Element von 2·057 bis 2·165; $e$ war im Mittel ein wenig unter 90 Volt und die mittlere Intensität des Stromes betrug 8·55 Ampère.

Während der Entladung ging $E$ von 75·6 auf 72 Volt zurück, $e$ sank auf ungefähr 60 Volt, mit einer Stärke von 16·16 Ampère.

Der Widerstand eines jeden Elementes schwankte während der Ladung zwischen 0·023 und 0·075 Ohm, während der Entladung zwischen 0·006 und 0·040 Ohm; bei dem Beginne der Entladung hat die Aenderung in der Richtung des Stromes diesen Widerstand plötzlich von 0·075 auf 0·006 sinken lassen.

| Tag | Elektromotorische Kraft der offenen Batterie | | Widerstand der Batterie | |
|---|---|---|---|---|
| | am Anfang | am Ende | am Anfang | am Ende |
| 4. Januar . . | 72·00 | 75·10 | 0·80 | 1·28 |
| 5. » . . . | 73·10 | 75·60 | 1·41 | 2·32 |
| 6. » . . . | 72·10 | 75·50 | 2·58 | 2·61 |
| 7. » . . . | 74·50 | 75·80 | 2·61 | 2·63 |

## Zeitraum der Entladung.

Die Entladung erfolgte am 7. und 9. Januar in zusammen 10 Stunden 39 Minuten und waren in den Stromkreis 11 Maximlampen eingeschaltet. Die Versuche begannen mit nur 30 Elementen. Nach 6 Stunden fügte man noch zwei neue Elemente hinzu, nach ungefähr 2 Stunden wurden nur für eine Viertelstunde die drei noch übrigen Elemente hinzugefügt. Der Strom hatte während dieser Zeit eine für das normale Brennen der Lampen zu grosse Stärke.

Die Entladungs-Experimente wurden am ersten Tage nach einer Dauer von 7 Stunden 15 Minuten unterbrochen und erst am zweitfolgenden Tage wieder aufgenommen; nachdem die neue Entladung 3 Stunden 20 Minuten gedauert hatte, befand sich die Batterie wieder in ihrem anfänglichen Zustande.

### Elektrische Messungen.

Die auf die Totalausgabe der Elektricität bezüglichen Daten waren, wie folgt:

| Tag | Mittlere Intensität | Secunden | Coulomb |
|---|---|---|---|
| 7. Januar . . . | 16.128 | 26340 | 424800 |
| 9. » . . . | 16.235 | 12000 | 194800 |
| | | | 619600 |

Der Zustand der Batterie lässt sich aus folgenden Ziffern erkennen:

| Tag | Elektromotorische Kraft der Batterie von 33 offenen Elementen i. Volt | | Widerstand der Batterie in Ohm | |
|---|---|---|---|---|
| | am Anfang | am Ende | am Anfang | am Ende |
| 7. Januar . . | 75·01 | — | 0·21 | 0·25 |
| 9. » . . . . | 72·50 | 72·00 | 0·26 | 1·41 |

### Widerstand der Lampen.

Bezeichnet man mit $r$ den Widerstand des äusseren Stromes während der Entladung, so erhält man:

$$e = E - RJ = rJ$$

aus welchem Ausdrucke man den Werth von $r$ leicht findet, weil der Werth von $e$ im $J$ in jedem Augenblicke durch Beobachtung ermittelt werden kann.

## Photometrische Bestimmung.

Was den Verbrauch von Arbeitskraft per Carcel per Secunde anbetrifft, so wird in dem Artikel in »La Lumière électrique«, dem wir diese Daten entnehmen, behauptet, dass diese Arbeitskraft einen Werth von 8 Kilogramm-Meter hatte. Dieses stimmt jedoch nicht mit der Behauptung überein, dass jede Maximlampe durchschnittlich eine Lichtstärke von 1·40 Carcel repräsentirte.

Legt man diese Angabe zu Grunde, so erhält man, wenn für 10 Stunden 35 Minuten die Lichtstärke per Lampe durchschnittlich 1·40 war, einen Werth, der demjenigen gleich ist, welcher einem Brenner von 11 Lampen à 1 Carcel während 14 Stunden 55 Minuten oder von 163·9 Carcel während einer Stunde entspricht.

Da nun die ganze, von der Batterie geleistete elektrische Arbeit 3,809.000 Kilogr.-Mtr. betrug, wie aus Tabelle II ersichtlich, so hat jede Stunde Carcel $\frac{3809000}{163 \cdot 9} = 23229$ Kilogr.-Mtr. oder 6·4 Kilogr.-Mtr. in der Secunde gekostet.

## Schlussfolgerungen.

Wenn man nun die in den vorhergehenden Tabellen gegebenen Daten vergleicht, so lässt sich sofort erkennen, dass von der Elektricitätsmenge von 694.500 Coulomb, welche in die Batterie eingeführt

wurden, 619.600 Coulomb bei der Entladung wieder zum Vorschein kamen, dass also nur 10·8 Procent verloren gingen.

Was die aufgewendete und wiedererhaltene Arbeit anbetrifft, so sieht man aus Tabelle I, dass die aufgewendete mechanische Arbeit 9,570.000 Kilogr.-Mtr. entspricht, dass davon nur 6,382.000 Kilogr.-Mtr. aufgespeichert wurden, und dass bei der Entladung 3,809.000 Kilogr.-Mtr. wieder nutzbar gemacht werden konnten, d. h. $\frac{3809000}{9570000} = 0·40$ der ganzen Arbeit und $\frac{3809000}{6382000} = 0·60$ der aufgespeicherten Arbeit.

Das Gesammtresultat der Experimente lässt sich also so formuliren:

Die Ladung der Batterie hat eine mechanische Arbeit von 1·558 Pferdekraft während eines Zeitraumes von 22 Stunden 45 Minuten (= 1365 Minuten) gekostet, was einer Arbeit von 1 Pferdekraft während $1·558 \times 1365 = 2126$ Minuten = 35 Stunden 26 Minuten entspricht. 44 Procent dieser Arbeit gingen durch passiven Widerstand und bei der Arbeit der Erregung der Maschine verloren und nur $\left(\frac{6382000}{9570000}\right) = 66$ Procent wurden wirklich zur Ladung der Batterie verwendet.

Von den 6,382.000 Kilogr.-Mtr. aber, die in der Batterie aufgespeichert waren, wurden nur 60 Procent bei der Entladung in dem äusseren Stromkreise wirksam.

Dadurch also, dass man die Faure'sche Batterie zur Speisung der elektrischen Lampen anwendete, anstatt die dynamoelektrische Maschine direct zu be-

nützen, gingen 40 Procent der von der dynamoelektrischen Maschine gelieferten Arbeit verloren und man sieht, dass die secundären Batterien keine besonders ökonomischen Apparate sind und dass man die Bequemlichkeit, welche ihre Anwendung bietet, recht hoch bezahlen muss. Nichtsdestoweniger leisten die Secundär-Batterien dadurch, dass sie den äusseren Stromkreis von den elektrischen Maschinen und die Maschinen von dem elektrischen Stromkreise unabhängig machen, unschätzbare Dienste, und abgesehen davon, dass man ohne Zweifel die Construction dieser Batterien mit der Zeit so verbessern wird, dass ein geringerer Arbeitsverlust mit ihrer Anwendung verbunden ist, so sind dieselben selbst jetzt schon von grossem Werthe in der Praxis in solchen Fällen, wo die Arbeitskraft und in Folge dessen die Erzeugung des elektrischen Stromes billig ist.

## Anwendungen der Secundär-Batterien.

Was nun die speciellen Anwendungen der Secundär-Batterien anbetrifft, so lassen sich dieselben in zwei Gruppen theilen, je nachdem man die Batterie als feststehendes Elektricitäts-Reservoir oder als transportables, mit Elektricität gefülltes Gefäss benützen will.

Als feststehendes Reservoir kann man diese Batterie schon in ihrem jetzigen unvollkommenen Zustande überall anwenden, wo ein gleichmässiger continuirlicher Strom zur Arbeitsleistung absolut nothwendig ist, und wird der Arbeitsverlust alsdann durch die zweckentsprechende Leistung des Apparates aufgewogen werden, denn die Secundär-Batterien sind

unbestreitbar ausgezeichnete Regulatoren. Wenn man z. B. eine Leitung, anstatt direct durch die elektrische Maschine, durch eine damit verbundene Secundär-Batterie speist, so mag die Maschine noch so unregelmässig arbeiten, man wird stets einen gleichmässigen Strom in der Leitung erhalten und ebenso werden keine Veränderungen im Stromkreise in diesem Falle den Gang der Maschine beeinflussen können.

Wünscht man dagegen die Secundär-Batterien in ihrer jetzigen Form als transportable, mit Elektricität gefüllte Gefässe zu benützen, so wird man nur dann einen wirklichen Vortheil aus denselben ziehen können, wenn man nur eine verhältnissmässig kleine Anzahl von Elementen zu transportiren braucht, denn das grosse Gewicht der grösstentheils aus Blei bestehenden Batterien ist ein bedeutendes Hinderniss, da die Transportkosten in vielen Fällen den Nutzen, den die Batterie gewährt, aufzehren werden.

Wenn man den Reclamen der »Société la Force et la Lumière« in Paris Glauben schenken würde, oder selbst wenn sich die Angaben Reynier's als richtig erwiesen hätten, so würden die Erfolge der Faure-schen Batterien wenig durch das Gewicht der Apparate beeinträchtigt werden, und im letzten Jahre ging man sogar so weit, zu behaupten, dass es sich lohnen würde, den Einwohnern einer Stadt mit Elektricität gefüllte Batterien ins Haus zu senden und nach Aufbrauch der Elektricität die leeren Batterien mit vollen zu vertauschen, ähnlich wie man es gegenwärtig in Bezug auf in Flaschen gefüllte Getränke thut.

Bei ruhiger Ueberlegung jedoch, und wenn man die durch die obigen Experimente erhaltenen Daten zur Basis seines Urtheils macht, wird man einsehen, dass die Bleibatterien als transportable Accumulatoren nur eine beschränkte Anwendung finden können.

Nach den Angaben von Reynier liefert ein Faure'sches Element, welches 8 Kg. wiegt, eine Arbeit von 4·4 Kilogr.-Mtr. per Secunde, d. h. auf jedes Kilogramm würde demnach 0·55 Kilogr.-Mtr. kommen; die durch die französische Commission festgestellten Daten ergaben jedoch, dass die 32 Elemente, von denen jedes 43·7 Kg. wiegt und deren Gewicht demnach 1398·4 Kg. betrug, 6,382.000 Kilogr.-Mtr. Arbeit aufgespeichert hatten und während der 10 Stunden 39 Minuten dauernden Entladung 3,809.000 Kilogr.-Mtr. Arbeit lieferten. Auf ein Kilogramm Gewicht kommt also während jener Zeit $\frac{3809000}{1398} = 2725$ Kilogr.-Mtr. und auf 1 Kilogramm per Secunde $\frac{2725}{38340} = 0{\cdot}071$ Kg., d. h. die per Kilogramm Gewicht der Batterie gelieferte Arbeit beträgt nur den achten (7·7) Theil des von Reynier angegebenen Werthes.

Wenn man nun z. B. die Absicht hätte, eine Faure'sche Batterie dazu zu benützen, um eine elektrische Eisenbahn in Bewegung zu setzen — und zu diesem Zwecke gedenkt ja unter Anderem die »Société la Force et la Lumière« nach ihrem Prospecte Faure-sche Batterien anzuwenden — und wenn man annimmt, dass die Elemente 10 Stunden 39 Minuten thätig sein sollen, eine Zeitdauer, die vielleicht für den genannten

Zweck etwas zu gross sein dürfte, die wir jedoch, um die oben angegebenen Daten benützen zu können, beibehalten wollen, so lässt sich die Leistung, welche per Kilogramm der Batterie hervorgebracht wird, leicht feststellen.

Nehmen wir an, dass die Geschwindigkeit der Bahn 10 Kilometer per Stunde, also etwa 3 Mtr. per Secunde betragen soll, und dass der Reibungs-Coefficient derjenige sei, den man gewöhnlich für Eisenbahnen mit guten reinlich gehaltenen Schienen annimmt, nämlich $\frac{1}{240}$. In diesem Falle würde, um 1 Kg. mit der Geschwindigkeit von 3 Mtr. per Secunde fortzubewegen, eine Kraft von $\frac{3}{240}$ Kgm. $=$ 0·012 Kgm. nöthig sein; da nun jedes Kilogramm der Batterie, wie wir gesehen haben, 0·07 Kgm. Arbeit leistet, so würde es also ausser seinem eigenen Gewicht noch etwa 5 Kg. ziehen können.

Dieses ziemlich günstige Resultat bezieht sich jedoch nur auf den Fall, dass die Secundär-Batterie zur Fortbewegung an Wagen benützt wird, welche auf glatten, reingehaltenen Eisenbahnschienen laufen. Wenn man die Batterie für Tramwaywagen anwenden will, welche auf Bahnen zu fahren haben, in deren Fugen sich Schmutz anhäuft, und bei denen die Reibung daher verhältnissmässig gross ist, so gestaltet sich der Reibungs-Coefficient weit ungünstiger, und man kann denselben etwa mit $\frac{1}{100}$ bezeichnen. In diesem Falle also würde die Fortbewegung eines Kilogramms

einen Aufwand von 0·03 Kg. beanspruchen, im Falle dass der Wagen 10 Kilometer per Stunde zurücklegen soll; es würde demnach die Batterie, welche per Kilogramm 0·07 Kgm. Arbeit zu liefern im Stande ist, nicht mehr als das Doppelte ihres Gewichtes fortzubewegen im Stande sein.

Man sieht also, dass die Secundär-Batterien in ihrer gegenwärtigen Construction als transportable Accumulatoren wegen ihres Gewichtes verhältnissmässig geringe Vortheile bieten, und dass, wenn man solche Batterien auf Wagen zu verwenden wünscht, es gut sein wird die Anzahl der Elemente so viel als möglich zu beschränken und anstatt ein grosses Quantum Elektricität auf einmal mitzunehmen, die Füllung des Accumulators unterwegs öfters wiederholen zu lassen.

Wenn man z. B. die Secundär-Batterien zur Beleuchtung von Eisenbahnwaggons benützen will, so kann man die Axe eines Wagens mit einer dynamoelektrischen Maschine verbinden, welche darnach in eine mässig schnelle Rotation versetzt wird und durch ihren Strom die Secundär-Batterie während der Fahrt füllt, während durch diese letztere die Lampen gespeist werden, und werden die letzteren alsdann ruhig fortbrennen, auch wenn der Zug hält, da sie nur indirect mit der elektrischen Maschine in Verbindung stehen. Anwendungen der Secundär-Batterien in dieser Weise werden sich viele finden lassen, und wird man stets aus den Faure-schen Batterien Nutzen ziehen können, wenn man nur im Auge behält, dass man das Gewicht der Batterie so niedrig wie möglich gestalten muss, sobald es sich darum handelt, die Batterie selbst mit fortzubewegen.

---

## V.

## Die physikalischen Gesetze, welche sich auf die Construction der elektrischen Maschinen beziehen, und ihre Anwendung in der Praxis.

In den vorhergehenden Capiteln wurde gewissermassen eine Uebersicht gegeben über das, was die Elektrotechnik bis zum gegenwärtigen Augenblicke in Bezug auf magnet- und dynamoelektrische Maschinen und deren Hilfsapparate geleistet hat, und wird der Leser wohl aus dem Gesagten ersehen haben, dass die bis hierher errungenen Resultate äusserst ermuthigender Natur sind.

Nichtsdestoweniger steht die Construction der elektrischen Maschinen noch in ihrer Kindheit und es werden noch mannigfache Verbesserungen durchgeführt werden müssen, ehe man die Anfertigung der Elektromotoren auf die Höhe erhoben hat, welche sie bei Zugrundelegung der werthvollen theoretischen Gesetze, die die Physiker der Neuzeit entdeckt haben, unbedingt erreichen muss.

Es wird demnach nothwendig sein, in einer für Fachleute bestimmten Abhandlung diejenigen theoretischen Principien zu besprechen, von deren Berücksichtigung die zweckmässigste Construction einer guten elektrischen Maschine abhängt.

Man mag wohl den Einwand machen, dass die elektrischen Theoretiker meistens Fälle ins Auge fassen, die in der Praxis nur in sehr modificirter Form vorkommen, nichtsdestoweniger jedoch lassen sich die Schlussfolgerungen des Physikers leicht für den praktischen Gebrauch abändern, wenn man die zu Grunde gelegten Fälle genau mit wirklich vorliegenden Fällen vergleicht und die Abweichungen in Rechnung bringt. Es sollte daher nicht vergessen werden, dass, wenn auch die Theorie dem Praktiker nicht stets die Mittel zur Ausführung seiner Probleme in die Hand giebt, sie doch wenigstens den Weg andeutet, auf welchem diese Mittel gefunden werden können, und so dem Constructeur unendlich viel Zeit und Mühe erspart, die er sonst oft ohne Erfolg vergeuden würde, um auf empirischem Wege die Antwort auf die ihm vorkommenden Fragen zu finden.

Bevor wir daher näher auf die constructiven Einzelheiten der elektrischen Maschinen übergehen, wollen wir die hauptsächlichsten physikalischen Gesetze zu entwickeln versuchen, welche auf die Construction eines Elektromotors Einfluss haben.

Diese Gesetze beziehen sich hauptsächlich auf die folgenden Punkte:

1. auf das Verhältniss der elektromotorischen Kraft einer Maschine zu der zu überwindenden Arbeit;

2. auf das Verhältniss des inneren Widerstandes einer Maschine zum Widerstande im äusseren Stromkreise;

3. auf die Abhängigkeit der elektromotorischen Kraft und Stromstärke:

*a*) von der Anzahl der Windungen auf der Armatur,
*b*) von der Rotations-Geschwindigkeit der Armatur,
*c*) von der Intensität des magnetischen Feldes, in welchem sich die Armatur bewegt.

Wenden wir unsere Aufmerksamkeit zuerst dem ersten Punkte zu und suchen wir auf theoretischem Wege die Antwort auf die Frage:

I. Welches muss das Verhältniss der elektromotorischen Kraft einer Maschine zu der zu verrichtenden äusseren Arbeit sein um einen möglichst grossen Nutzeffect zu erhalten?

Zu diesem Zwecke wollen wir annehmen, dass ein Elektromotor zu galvanoplastischen Niederschlägen benützt werden soll, und dass uns der Widerstand des galvanoplastischen Apparates sowohl, wie des Elektromotors bekannt sei.

Die elektromotorische Kraft des Elektromotors sei $E$, der Gesammtwiderstand, welchen der Strom zu überwinden hat, $R$ und der Strom sei $I$. Dann folgt aus dem Ohm'schen Gesetze

$$IR = E \tag{1}$$

Wenn wir nun anstatt des galvanoplastischen Apparates vorläufig in den Stromkreis einen isolirten Leitungsdraht einschalten, dessen Widerstand genau dem des galvanoplastischen Apparates gleich ist, so wird, wenn der Strom durch diesen Draht fliesst, per Minute eine Wärmemenge producirt werden, welche einer gewissen Arbeit $L$ entspricht, und ist nach dem Joule'schen Gesetze diese Arbeit

$$L = E \, . \, I = \frac{E^2}{R} \tag{2}$$

Schaltet man nun anstatt des stellvertretenden Widerstandes wirklich den galvanoplastischen Apparat ein, so sollte man bei oberflächlicher Betrachtung annehmen, dass die Stromstärke dieselbe bleiben wird, da der Widerstand unverändert ist. Dieses ist jedoch nicht der Fall; die Stromstärke nimmt ab und zwar deswegen, weil ein Theil derselben durch eine während der Arbeit in dem galvanoplastischen Apparat auftretende elektromotorische Gegenkraft annullirt wird. Die neue Stromstärke kann man mit $I'$ bezeichnen, und wenn man $t$ für die Zeit setzt, in der man von dem Elektromotor in Wirklichkeit eine ebensogrosse Elektricitätsmenge erhält, als derselbe in der Zeiteinheit lieferte, da noch statt des galvanoplastischen Apparates der correspondirende Widerstandsdraht eingeschaltet war, so erhalten wir

$$I = t I' \qquad (3)$$

Das heisst, es wird pro Zeiteinheit nur der Theil der disponiblen elektrischen Energie in wirkliche Arbeit $l$ umgesetzt, welcher der Stromstärke $I'$ entspricht, während der übrigbleibende Theil, den man mit $L'$ bezeichnen kann, sich in der Form von Wärme in dem Stromkreis vertheilt.

Da nun Strom und Arbeit (oder die entsprechende Wärme) proportional sind, so ist nach Gleichung 3

$$L = (L' + l)\, t \qquad (4)$$

und durch Elimination von $t$ aus den beiden Gleichungen 3 und 4 erhalten wir

$$\frac{L}{I} = \frac{L' + 1}{I'} \qquad (5)$$

Die Ursache für den Umstand, dass nur ein Theil des Stromes in Arbeit verwandelt wird, während der andere Theil als Wärme auftritt, ist in dem Vorhandensein der oberwähnten elektromotorischen Gegenkraft zu suchen, welche wir mit $e$ bezeichnen wollen.

In diesem Falle erhalten wir

$$I' = \frac{E-e}{R}; \; L' = \frac{(E-e)^2}{R} \tag{6}$$

und aus Gleichung 5 und 2

$$E = E - e + l \frac{R}{E-e}$$

oder

$$lR = e(E-e) \tag{7}$$

Setzen wir nun $e = Ri$, in welcher Gleichung

$$i = I - I' \text{ ist,}$$

so folgt aus Gleichung 7 und 1

$$l = Ri(I-i) = RiI'$$

und da aus der Gleichung 1 hervorgeht, dass

$$L = I^2 R$$

ist, so erhält man, wenn man für die Quotienten $\frac{i}{I}, \frac{I'}{I}$ der Reihe nach $x$ und $y$ setzt,

$$x + y = 1; \; xy = \frac{l}{L}$$

Es sind also $x$ und $y$ die Wurzeln der quadratischen Gleichung

$$z^2 - z + \frac{l}{L} = 0$$

woraus

$$z = \frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{l}{L}} \text{ folgt.}$$

Es ist demnach klar, dass das Verhältniss von $\frac{l}{L}$ nie grösser werden kann als $\frac{1}{4}$ d. h. dass von der elektrischen Energie, welche der Strom liefert, wenn er keine Arbeit zu verrichten hat, und wenn er nur den inneren und äusseren Widerstand zu überwinden hat, nur $\frac{1}{4}$ in eine andere Form von Energie (in unserem Falle in chemische Zersetzungsarbeit) umgesetzt werden kann.

Wenn dieses Maximum der Umsetzung der elektrischen Energie in Arbeit erreicht wird, so ist:

$$i = \frac{1}{2} I; \quad I' = i; \quad e = \frac{1}{2} E; \quad t = 2,$$

d. h. die Stromstärke und die elektromotorische Kraft sind dann nur halb so gross, als sie bei gleichem Widerstand sein würden, wenn der Strom keine Arbeit zu verrichten hätte, und es folgt daraus der wichtige Satz:

Den grössten Nutzeffect erhält man von einem Elektromotor, wenn seine elektromotorische Kraft doppelt so gross ist als die während der Arbeitsleistung des Stromes auftretende Gegenkraft.

In dem speciell angenommenen Falle, in welchem die Maschine zur Galvanoplastik bestimmt ist, soll also die elektromotorische Kraft des Stromes doppelt so gross sein als die durch die Polarisation im galvanischen Bade erzeugte elektromotorische Gegenkraft.

Derselbe Grundsatz gilt auch für die Anwendung der Maschine zu dynamischer oder magnetischer Arbeit,

muss jedoch modificirt werden, wenn die Maschine zur Lichterzeugung bestimmt ist.

Obgleich nämlich bei dem Lichtbogen, wie Edlund entdeckte, ebenfalls durch Polarisation der Elektroden eine elektromotorische Kraft erzeugt wird, die der elektromotorischen Kraft der Maschine entgegenwirkt, so wirkt dennoch diese elektromotorische Kraft nicht anders, wie der Leitungswiderstand, beide nämlich erzeugen strahlende Energie, und wenn der Leitungswiderstand des Lichtbogens im Vergleiche zu der elektromotorischen Kraft der Polarisation bedeutend ist, so hat der obige Satz für den grössten Nutzeffect nicht mehr seine Bedeutung.

Es kommt in der Praxis darauf an, möglichst viel Energie im äusseren Stromkreise zu erhalten, was dadurch geschieht, dass man der Maschine einen verhältnissmässig geringen inneren Widerstand giebt.

Ueberhaupt ist das obige theoretische Gesetz in der Praxis so zu modificiren, dass die elektromotorische Kraft der Maschine stets etwas grösser ist, als die auftretende elektromotorische Gegenkraft.

Die auf den zweiten, im Anfange dieses Capitels erwähnten Punkt bezügliche Frage würde lauten:

II. Welcher innere Widerstand entspricht bei einem gegebenen äusseren Widerstande dem grössten Nutzeffect?

Die Antwort auf diese Frage lässt sich ebenfalls auf theoretischem Wege finden.

Nehmen wir an, eine Armatur habe $n$ Armaturspulen von gleichem Widerstande und gleicher elektro-

motorischer Kraft, und es handele sich nun darum, die Spulen so zu koppeln, dass die Wirksamkeit der Maschine möglichst gut ausgenützt wird.

Zu diesem Zwecke bezeichne $n$ die Anzahl der Armaturspulen, $e$ die elektromotorische Kraft einer jeden Spule und $r$ ihren Widerstand; die elektromotorische Kraft der ganzen Armatur wird demnach $ne$ und ihr Widerstand $re$ sein, wenn die Spulen hintereinander, d. h. auf Spannung gekoppelt sind.

Koppelt man jedoch die Spulen auf Quantität, d. h. verbindet man ihre gleichnamigen Pole mit einander, so wird die elektromotorische Kraft der Armatur nur gleich der einer einzigen Spule, nämlich $e$ sein, der innere Widerstand derselben wird jedoch gleich $\frac{r}{n}$ sein.

Man kann aber auch die Spulen in Gruppen ordnen und die Elemente einer jeden Gruppe auf Quantität, die Gruppen selbst jedoch auf Spannung koppeln.

Wenn eine jede Gruppe gleich viele Elemente derselben Art erhält, so entspricht diese Koppelung einer Volta'schen Säule, bei welcher die Anzahl der Elemente gleich ist dem Quotienten aus der Zahl aller Elemente, dividirt durch die Zahl der Gruppen, und wobei die Oberfläche der Elemente um so viel grösser ist, als die eines einzelnen Elementes, als die Anzahl der Elemente in einer Gruppe angiebt.

Nennen wir die Anzahl der Elemente in einer Gruppe $x$, so ist $e$ die elektromotorische Kraft einer jeden Gruppe und $\frac{r}{x}$ ihr innerer Widerstand, somit können wir die elektromotorische Kraft der ganzen

Armatur durch $\frac{n}{x} e$ und ihren inneren Gesammtwiderstand durch $\frac{n}{x} \cdot \frac{r}{x}$ ausdrücken.

Es handelt sich also in dem fraglichen Falle darum, $x$ so zu bestimmen, dass der von den $n$ Armaturspulen hervorgebrachte Strom in dem Schliessungskreise eine Maximalstärke erlangt.

Wenn wir mit $R$ den Widerstand im äusseren Stromkreise bezeichnen und mit $y$ die Stromstärke, welche wir erhalten, wenn wir $\frac{n}{x}$ Gruppen aus der Anzahl der Armaturspulen gebildet haben, so erhalten wir nach dem Ohm'schen Gesetze die Gleichung:

$$y = \frac{\frac{n}{x} e}{R + \frac{nr}{x^2}}$$

oder: $$y = \frac{n x e}{x^2 R + nr},$$

folglich $$x^2 R y - n x e + nry = O$$ und demnach

$$x = \frac{1}{2yR}\left[n e \pm \sqrt{n^2 e^2 - 4 nr\, R y^2}\right]$$

Da wir es hier natürlich nicht mit imaginären Werthen zu thun haben, so setzen wir

$$n^2 e^2 - 4nr\, R y^2 = O$$

um das Maximum für $y$ zu erhalten.

Folglich $$y = \frac{e}{2}\sqrt{\frac{n}{rR}}$$

und $$x = \sqrt{\frac{rn}{R}}$$ oder

$$R = \frac{nr}{x^2}$$

Wir sehen also, man erhält das Maximum des Nutzeffectes von einem Elektromotor, wenn sein innerer Widerstand gleich ist dem Widerstand im äusseren Stromkreise.

Dieser, in der vorhergehenden Betrachtung abgeleitete Satz für das Erhalten des grössten idealen Nutzeffectes muss jedoch für die Praxis ebenfalls etwas modificirt werden, denn, obgleich, wie gesagt, die Maschine auf diese Weise am besten ausgenützt ist, so handelt es sich in der Praxis (z. B. für die elektrische Beleuchtung), wie oben erwähnt, hauptsächlich darum, eine möglichst grosse Arbeit im äusseren Stromkreise zu erzielen. Dieses würde aber nicht erreicht werden, wenn der innere Widerstand der Maschine gleich dem Widerstande im äusseren Stromkreise wäre. In diesem Falle geht nämlich gerade so viel Effect im inneren Stromkreise durch Erwärmung verloren, als im äusseren gewonnen wird, und es würden demnach nur 50 Percent der elektrischen Energie in dem äusseren Stromkreise nutzbar werden. Das ist jedoch für die Praxis viel zu wenig und wie Uppenborn angiebt (Z. f. a. E. IV, p. 32) sollte der innere Widerstand nie mehr als $^3/_7$ des äusseren Widerstandes betragen.

Wir kommen nun zu der Frage:

III. Wie verhält sich die Stromstärke und die elektromotorische Kraft einer Maschine unter sonst gleichen Umständen zu der Anzahl Drahtwindungen auf der Armatur?

Diese Frage wird z. B. an uns herantreten, wenn wir eine magnetelektrische Maschine zu construiren haben, bei der wir die Intensität des magnetischen Feldes der Magnete ermittelt haben, die wir mit einer constanten Rotations-Geschwindigkeit der Armatur arbeiten lassen wollen und in Bezug auf die wir nun zu wissen wünschen, welche Anzahl von Drahtwindungen wir auf die Armatur aufrollen sollen, um den grössten Nutzeffect zu erhalten.

Die Antwort auf die Frage wird uns im Principe gegeben durch das von Lenz und Jacobi aufgestellte Gesetz.

Dieses Gesetz sagt: Bei constanter Intensität des magnetischen Feldes und bei constanter Geschwindigkeit ist die elektromotorische Kraft einer Maschine direct proportional der Anzahl der Windungen und ganz unabhängig von dem Radius, sowie von der Drahtdicke und dem specifischen Leitungsvermögen.

Durch jede neue Windung oder durch jede neue Lage von Windungen, die man auf der Armatur aufwickelt, wird aber nicht nur die elektromotorische Kraft der Maschine erhöht, sondern eine jede Windung und eine jede Schicht hat auch ihren bestimmten Widerstand, welcher von der Länge und dem Querschnitte des Drahtes abhängt, und den man bei der Construction in Anschlag bringen muss.

Bei rechtwinkligem Querschnitte der Rinne, welche die Spirale aufnimmt, ist die Länge aller Windungen in einer und derselben Schicht gleich und variirt von

einer Schicht zur andern um eine constante Grösse Man kann daher den mit einer gegebenen Geschwindigkeit in einem magnetischen Felde von constanter Intensität und constanter Geschwindigkeit rotirenden Inductor als eine Reihe von hintereinander verbundenen Elektromotoren ansehen, deren elektromotorische Kraft dieselbe ist, und deren Gesammtwiderstand ein Vielfaches von $m$ ist.

Bei der Bestimmung der Anzahl von Windungen und Windungsschichten und der Drahtdicke gilt es nun, den inneren Widerstand zu dem Widerstande im äusseren Stromkreise in ein für die Praxis brauchbares Verhältniss zu bringen, und wenn man dieses Verhältniss festgesetzt hat, so lässt sich die Anzahl von Windungen und Schichten leicht berechnen, wenn man mit $n\,e$ die elektromotorische Kraft und mit $n\,\varrho$ den inneren Widerstand der Maschine bezeichnet, während man für $\varrho$ den Ausdruck $\frac{4\,k\,C}{\pi\,x^2}$ anwendet, in welchem $k$ den specifischen Widerstand des Drahtes bedeutet und $C$ für die mittlere Länge einer Drahtwindung steht, welche sich nach der Form und den Dimensionen der Armatur richtet.

Die Dicke der isolirenden Umhüllung kann man mit $x$ bezeichnen und ist alsdann die Dicke des umsponnenen Drahtes $= x + 2\,a$ und der Normalschnitt der Rinne, welche die Spirale aufnehmen soll, muss demnach einen Flächeninhalt von $n\,(x + 2\,a)^2$ und einen Rauminhalt $= n\,C\,(x + 2\,a)^2$ besitzen; die beiden Dimensionen des Querschnittes ergeben sich dann aus diesen beiden Grössen

Dividirt man ferner die Höhe durch $x = 2a$, so ergiebt sich die Anzahl der Schichten, und dividirt man die Breite durch dieselbe Grösse, so erhält man die Anzahl der Windungen, welche in einer Schicht enthalten sein sollten.

Im Falle man der Armatur mehrere Spulen geben will, empfiehlt es sich, dieselben so herzustellen, dass man sie auf Quantität oder Spannung koppeln kann und die Berechnung ihrer Wirkungsweise erfolgt dann in der früher beschriebenen Weise.

Die nächste Frage, welche in der Praxis vorkommen kann, lautet:

IV. Wie verhält sich Stromstärke und elektromotorische Kraft einer Maschine, welche eine gegebene Anzahl von Drahtwindungen auf der Armatur hat, bei constanter Intensität des magnetischen Feldes zu der Rotations-Geschwindigkeit der Armatur?

Die Antwort auf diese Frage lautet: Man kann annehmen, dass bei constanter Intensität des magnetischen Feldes und bei constantem Widerstande die Stromstärke in directem Verhältnisse mit der Geschwindigkeit der Armatur wächst.

Es handelt sich daher, wenn man den wirklichen Einfluss, welchen die Rotations-Geschwindigkeit in einer Maschine hat, kennen lernen will, darum, das Wachsen des Widerstandes festzustellen.

Man muss zu diesem Zwecke bei der Berechnung das Factum in Anschlag bringen, dass mit der Stromstärke die in den Drahtspiralen der Armatur erzeugte Wärmemenge proportional dem Quadrate der elektro-

motorischen Kraft, also auch proportional dem Quadrate der Rotations-Geschwindigkeit der Armatur wächst, und dass damit die Temperatur der Spirale und ihr Widerstand zunimmt. Für die Praxis kann man annehmen, dass die absolute Temperatur des Drahtes ebenfalls proportional dem Quadrate der minutlichen Tourenzahl der Armatur steigt. In welcher Weise der Widerstand des Drahtes mit dem Steigen der absoluten Temperatur des Drahtes zunimmt, lässt sich alsdann, wenn man den Widerstands-Coefficienten des angewandten Metalles bei $0^0$ C. kennt, aus der Siemens-schen Formel

$$r = \alpha T^{\frac{1}{2}} + \beta T + \gamma$$

berechnen, in welcher $T$ die absolute Temperatur des Metalles $(273^0 + t)$ und $r$ den Widerstand bezeichnet. Die Werthe der Coefficienten $\alpha \beta \gamma$ ergeben sich aus der untenstehenden Tabelle, und da die Formel für Siemens-Einheiten berechnet ist, so hat man es mit Drähten von 1 Mtr. Länge und 1 Quadr.-Millim. Querdurchschnitt zu thun.

| Metall | $\alpha$ | $\beta$ | $\gamma$ |
|---|---|---|---|
| Platin . . . . . | 0·039369 | 0·00216407 | — 0·24127 |
| Kupfer . . . . . | 0·026577 | 0·0031443 | — 0·29751 |
| Eisen . . . . . | 0·072545 | 0·0038133 | — 1·23971 |
| Aluminium . . . . | 0·0595144 | 0·00284603 | — 0·76492 |
| Silber . . . . . | 0·0060907 | 0·0005538 | — 0·07456 |

Wenn man aus dieser Formel den Widerstand berechnet hat, den die Spirale, bei jeder Temperaturerhöhung um eine gewisse Grösse, erhält, so lässt sich mit Berücksichtigung des Ohm'schen Gesetzes leicht

eine Gleichung aufstellen, durch welche man ein Maximum für $I$ findet, und kann man sowohl den idealen Nutzeffect feststellen, als auch die Berechnung machen, durch welche man die Rotations-Geschwindigkeit der Armatur so modificiren kann, dass man eine möglichst grosse Energieentwicklung in der äusseren Leitung erhält.

Wir haben nunmehr auf die Anzahl der Drahtwindungen auf der Armatur und auf die Rotations-Geschwindigkeit der Armatur Rücksicht genommen, es bleibt uns also noch der dritte Factor übrig, nämlich die Intensität des magnetischen Feldes.

Die zu beantwortende Frage würde also lauten:

V. Wie verhält sich die elektromotorische Kraft einer Maschine, deren Armatur eine gegebene Anzahl von Drahtwindungen hat, bei constanter Rotations-Geschwindigkeit zu der Intensität des magnetischen Feldes?

Die Antwort auf diese letzte Frage lautet: Unter diesen Umständen ist die elektromotorische Kraft proportional der Intensität des magnetischen Feldes, und die wichtigsten Fragen, welche sich auf die magnetelektrischen Maschinen beziehen, sind somit erledigt, denn die Intensität des magnetischen Feldes ist in diesen Maschinen constant und hängt nur von der Stellung der Armatur zu den Magnetpolen und von der zweckmässigen Construction der inducirenden Stahlmagnete oder Elektromagnete ab. Die Antwort ist jedoch noch nicht gefunden für die Einwirkung, welche die Rotations-Geschwindigkeit der Armatur in dynamoelektrischen Maschinen hervorruft; denn in diesen

Maschinen ist die Intensität des magnetischen Feldes nicht constant, sondern direct abhängig von der Rotations-Geschwindigkeit des Inductors und die Vorgänge im Inneren der Maschine sind etwas complicirter. Wir werden also mit Rücksicht auf die dynamoelektrischen Maschinen noch drei weitere wichtige Fragen zu beantworten haben, nämlich:

VI. In welchem Verhältnisse steht die Stromstärke zur Rotations-Geschwindigkeit in den dynamoelektrischen Maschinen?

VII. In welchem Verhältnisse steht der wirksame Magnetismus in den dynamoelektrischen Maschinen zur Rotations-Geschwindigkeit der Armatur und zum Wachsen der Stromstärke? und

VIII. Welche Anzahl von Drahtwindungen muss man den inducirenden Magneten und der Armatur in dynamoelektrischen Maschinen geben, um den grössten Nutzeffect zu erhalten?

Auf Frage VI und VII ist die Antwort in einer äusserst interessanten Abhandlung des Herrn Dr. O. Fröhlich gegeben, die am 30. November 1880 in den Monatsheften der Berliner Akademie der Wissenschaften veröffentlicht war. Diese Abhandlung enthält eine Theorie, welche auf Grund einer grossen Anzahl für die Firma Siemens und Halske gemachter Experimente von dem Verfasser aufgestellt wurde, und die für die Messungen dynamoelektrischer Maschinen von grossem Werthe ist. Die wichtigsten Punkte der Theorie sind im Folgenden besprochen.

Nach dem Ohm'schen Gesetze ist:

$$I = \frac{E}{W}$$

in welcher Gleichung $I$ die Stromstärke, $E$ die elektromotorische Kraft und $W$ den Widerstand bedeutet.

Die elektromotorische Kraft ist aber, wie wir bereits erwähnt haben, proportional der Anzahl der Windungen ($n$) auf der Armatur, der Rotations-Geschwindigkeit ($v$) der Armatur und der Intensität des magnetischen Feldes oder, wie Dr. Fröhlich sich ausdrückt, dem »wirksamen Magnetismus« ($M$); man kann also das Ohm'sche Gesetz in der Form

$$I = \frac{n M v}{W} \tag{1}$$

schreiben.

In den magnetelektrischen Maschinen mit Stahlmagneten ist der wirksame Magnetismus constant und nur abhängig von der Stärke des Magnets, in den magnetelektrischen Maschinen mit Elektromagneten hängt er von der Stärke des durch seine Spiralen laufenden Stromes ab und in den dynamoelektrischen Maschinen ist dieses auch der Fall, doch kommt hier noch dazu, dass er eine Function desselben Stromes $I$ ist, den er in den Armaturspiralen erzeugt.

Man kann dieses Factum in der Form schreiben

$$M = f(I)$$

Dividirt man nun Gleichung 1 durch $M$, so erhält man

$$\frac{I}{M} = \frac{n v}{W} \text{ oder}$$

$$\frac{I}{f(I)} = n \frac{v}{W}$$

Da nun $\frac{I}{f(I)}$ nur eine Function von $I$ ist, so ist $n \frac{v}{W}$ nur abhängig von $I$ und umgekehrt ist $I$ abhängig von $n \frac{v}{W}$.

Man kann dieses also auf folgende Weise ausdrücken:

$$I = F\left(n \frac{v}{W}\right) \tag{2}$$

d. h. die Stromstärke ist abhängig von dem Verhältniss der Rotations-Geschwindigkeit der Armatur zum Widerstand.

Dieses ist die Grundgleichung für die dynamoelektrischen Maschinen, und wenn das Verhältniss von $\frac{v}{W}$ in einer Maschine bekannt ist, so lassen sich alle auf die Maschine bezüglichen praktischen Fragen beantworten.

Um das Verhältniss von $\frac{v}{W}$ zu bestimmen, muss man, wie Dr. Fröhlich dieses in Bezug auf die Siemens'schen Maschinen gethan hat, die zu untersuchende Maschine bei möglichst verschiedenen Geschwindigkeiten und unter Einschaltung möglichst verschiedener äusserer Widerstände arbeiten lassen und die beziehungsweisen Stromstärken messen. Dann berechnet man für jeden Versuch das Verhältniss $n \frac{v}{W}$

und trägt alle Versuche graphisch auf ($n \frac{v}{W}$ als Abscisse, die Stromstärke als Ordinate), wodurch man eine Curve erhält, welche Dr. Fröhlich die Stromcurve nennt und aus der sich die gewünschten Antworten leicht ableiten lassen.

Ist $v$ und $W$ bekannt und wünscht man $I$ zu finden, so sucht man in der Curve die Abscisse für $n \frac{v}{W}$ und findet in der correspondirenden Ordinate den Werth für $I$; ist $I$ bekannt, so sucht man die $I$ entsprechende Ordinate auf und findet den Werth für $n \frac{v}{W}$ in der Abscisse; kennt man dann ausserdem den Werth von $v$, was in der Praxis wohl stets der Fall ist, so lässt sich aus $v$ und $n \frac{v}{W}$ der Werth von $W$ ableiten; ist $W$ gegeben, so ergibt sich aus $W$ und $n \frac{v}{W}$ der Werth von $v$.

Der Werth für $E$ und $M$ ist, sobald $I$, $v$ und $W$ bekannt sind, dann nach dem Ohm'schen Gesetze leicht abzuleiten.

In der Praxis ist es nun aber eine zeitraubende Arbeit, für jede Maschine die Stromcurve auf experimentellem Wege zu ermitteln, und ist dieses, wie Dr. Fröhlich angibt, auch nicht nöthig, da in der Praxis weder ganz schwache, noch äusserst starke Ströme gebraucht werden, für die Ströme von mittlerer Stärke aber die Curve als eine gerade Linie betrachtet werden kann. In dem Factum, dass die Stromcurve innerhalb

der in der Praxis vorkommenden Grenzen eine Gerade ist, ist der Satz ausgedrückt, dass man in diesem Falle $I$ (die Stromstärke) als eine lineare Function von $n \frac{v}{W}$ ansehen kann. (Die gerade Linie, welche der Curve entspricht, findet man natürlich leicht, indem man nur ihre Endpunkte experimentell feststellt.)

Wenn nun die Stromstärke eine lineare Function von $n \frac{v}{W}$ ist, so kann man die Gleichung aufstellen:

$$I = \frac{1}{b} \left( n \frac{v}{W} - a \right) \qquad (3)$$

In dieser Gleichung sind $a$ und $b$ Constante, und zwar bezeichnet $a$ »die todten Touren« der Armatur, d. h. diejenigen Touren, welche die Maschine während des »Angehens« macht und durch die noch kein wirksamer Strom geliefert wird, und $b$ erhält man, wenn $a$ bekannt ist, nachdem man für irgend einen Punkt der Geraden, welche die Curve repräsentirt, die Werthe von $I$ und $n \frac{v}{W}$ bestimmt hat, aus der Gleichung:

$$b = \frac{n \frac{v}{W} - a}{I}.$$

Will man die Abhängigkeit des »wirksamen Magnetismus« von der Stromstärke bestimmen, so erhält man aus Gleichung 3

$$M = \frac{1}{n} I \frac{W}{v} \qquad \text{(Vgl. Gleichung 1)}$$

durch Elimination von $\frac{v}{W}$

$$M = \frac{I}{a + b\,I} \qquad (4)$$

Aus dieser Gleichung geht hervor, dass $\frac{1}{a}$ das Verhältniss des wirksamen Magnetismus zum Strom bei ganz schwachen Strömen und $\frac{1}{b}$ das Verhältniss des wirksamen Magnetismus zum Strom bei ganz starken Strömen ist. (Dieses ist allerdings nicht ganz genau, weil dieser Satz von der Voraussetzung abgeleitet ist, dass $I$ eine lineare Function von $n\frac{v}{W}$ ist, und dieses ist nur für Ströme von mittlerer Stärke correct. Nichtsdestoweniger sind die Sätze geeignet eine im Allgemeinen richtige Anschauung der Vorgänge zu geben.)

Die Abhängigkeit der elektromotorischen Kraft lässt sich ebenfalls aus der Curve ableiten, und zwar aus der Gleichung:

$$E = \frac{1}{b}\left(n\,v - a\,W\right)$$

Was den wirksamen Magnetismus in den in der Praxis vorkommenden Fällen anbetrifft, so hat Herr Dr. Fröhlich festgestellt, dass es irrig ist zu glauben, dass in den dynamoelektrischen Maschinen derselbe proportional zu der Stromstärke in der Armatur wächst. Im Anfange ist dieses allerdings der Fall, bei steigender Rotations-Geschwindigkeit und Stromstärke weicht das Wachsen des wirksamen Magnetismus jedoch immer mehr und mehr von der Rotations-Geschwindigkeit ab und erreicht der wirksame Magnetismus endlich ein

Maximum. Für noch stärkere Ströme sinkt seine Stärke sogar wieder von diesem Maximum herab.

Diese Erscheinung hat ihren Grund darin, dass der Magnetismus der inducirenden Magnete nicht nur von der magnetisirenden Kraft der Windungen auf den Schenkeln derselben — dieses ist allerdings die Hauptquelle — durch welche nicht nur diese Schenkel, sondern auch (durch Induction) die Armatur magnetisirt werden, abhängt, sondern dass die Windungen der Armatur ebenfalls eine erhebliche magnetisirende Kraft auf das Eisen der inducirenden Magnete ausüben, welche jedoch derjenigen der Schenkelwindungen entgegenwirkt, indem sie die magnetische Axe der Armatur dreht und den Magnetismus namentlich der Armatur schwächt. Dr. Fröhlich's Versuche mit den Siemens'schen Maschinen zeigten, dass der wirksame Magnetismus der Maschine in Folge des magnetisirenden Einflusses der Armaturwindungen um $^1/_4$ geringer ist als er es ohne diesen hindernden Einfluss sein würde, und die Ankerwindungen wirken um so mehr nachtheilig auf die inducirenden Magnete, wenn die Rotations-Geschwindigkeit über eine gewisse Grenze hinaus gesteigert wird, denn wenn die Schenkel bei zunehmender Stromstärke auf ein Maximum magnetisirt sind, so muss die Einwirkung des Stromes auf den Magnetismus der Armatur immer noch zunehmen, der ganze wirksame Magnetismus also abnehmen. Dieses findet jedoch nur für Stromstärken statt, welche die in der Praxis vorkommenden weit übersteigen. Für die gewöhnlichen Fälle kann man also annehmen, dass der wirksame Magnetismus schliesslich ein constantes Maximum erreicht.

Was Frage VIII anbetrifft, d. h. das zweckmässige Verhältniss der Drahtwindungen des Ankers zu denen der inducirenden Magnete, so hat der bekannte englische Physiker Sir William Thomson eine diesbezügliche Theorie aufgestellt, welche am 19. September 1881 der Pariser Akademie der Wissenschaften vorgelegt wurde.

In dem inducirenden Magnete sei:

$L$ die Länge des Drahtes;

$B$ das Volumen des Drahtes sammt Isolirung;

$n$ das Verhältniss dieses Totalvolumens zum Volumen des Kupfers allein (d. h. $\frac{1}{n} B =$ Volumen des Kupfers);

$A$ der Totalquerschnitt des Drahtes;

$R$ der Widerstand des Drahtes.

Dieselben Grössen der inducirten Armatur mögen der Reihe nach bezeichnet werden durch $L'$, $B'$, $n'$, $A'$, $R'$. Ferner sei $s$ der specifische Widerstand des Kupfers.

Alsdann ist:

$$B = A L$$

$$R = ns \frac{L}{A} = ns \frac{B}{A^2}$$

Daher

$$A = \frac{\sqrt{nsB}}{\sqrt{R}} = \frac{K}{\sqrt{R}} \tag{1}$$

und

$$A' = \frac{\sqrt{n' s' B'}}{\sqrt{R'}} = \frac{K'}{\sqrt{R'}} \tag{2}$$

In diesen Gleichungen bezeichnen $K$ und $K'$ Constanten.

Sei nun $c$ die Stromstärke im inducirenden Magnet, $c'$ die Stromstärke, welche in der Armatur auftritt, $v$ die

Geschwindigkeit eines beliebigen Punktes der Armatur und $p$ die mittlere elektromotorische Kraft an beiden Enden des Drahtes der Armatur, dann haben wir die Gleichung:

$$p = I\frac{c}{A} \cdot \frac{1}{A'} v \tag{3}$$

Hierin bezeichnet $I$ einen Coefficienten, der von Formen, Dimensionen, den relativen Lagen $B$ und $B'$, sowie ausserdem von der magnetischen Capacität des Eisens abhängig ist; $I$ nimmt mit jener Capacität ab, bei Zunahme der Stromstärke und ausserdem bei Aenderungen von $R$ und $R'$, welche die Kraft der Magnetisirung vermehren.

Bei den dynamoelektrischen Maschinen mit einfachem Stromkreise ist $c' = c$. Dieses ist nicht der Fall bei dynamoelektrischen Maschinen mit Derivation. In beiden Fällen jedoch ist das mechanische Aequivalent der geleisteten elektrischen Arbeit gleich $p\,c'$, oder nach Gleichung 3

$$I\frac{c\,c'}{A\,A'} v \tag{4}$$

und wenn man in diese Gleichung die gefundenen Werthe für $A$ und $A'$ einsetzt, so ist

$$\frac{I\sqrt{RR'}.\,c\,c'\,v}{K\,K'} \tag{5}$$

Von dieser Totalarbeit geht ein Theil verloren durch die Erwärmung der Spuldrähte; der andere wird im äusseren Stromkreise nutzbar gemacht. Ihre respectiven Werthe sind:

$$\mathrm{R}\,c^2 + R'\,c'^2 \tag{6}$$

für die verlorene Arbeit

und $$\frac{I\sqrt{RR'}\,cc'\,v}{KK'} - (R c^2 + R' c'^2) \qquad (7)$$

für die Nutzarbeit.

Wenn man $v$ sehr gross macht, so kann man das Verhältniss von 6 zu 7, d. h. Verlustarbeit durch Nutzarbeit, so klein gestalten, als man will.

Das zu lösende Problem besteht nun darin, zu bestimmen, welche relativen Werthe man $R$ und $R'$ geben muss, um bei einer beliebigen gegebenen Geschwindigkeit das Verhältniss der Verlustarbeit zur Nutzarbeit zu einem Minimum zu machen, oder, was dasselbe sagt, um — wenn jenes Verhältniss gegeben ist — die Geschwindigkeit zu einem Minimum zu machen. Um dieses Problem zu lösen, nennen wir $r$ das Verhältniss der Totalarbeit zur Verlustarbeit.

Wir haben dann nach 5 und 6 die Beziehung:

$$r = \frac{I.\sqrt{RR'}\,cc'}{Rc^2 + R'c'^2} \cdot \frac{v}{KK'} \qquad (8)$$

Bei der einfachen dynamoelektrischen Maschine haben wir $c' = c$ und 8 geht über in die Gleichung:

$$r = \frac{I\sqrt{RR'}}{R + R'} \cdot \frac{v}{KK'} \qquad (9)$$

oder $$r = \frac{I\sqrt{R(S-R)}}{SKK'} \qquad (10)$$

wenn $$S = R + R' \qquad (11)$$

gesetzt wird.

Nehmen wir nun an, dass $S$ gegeben und $I$ für einen Augenblick constant sei. Damit alsdann $r$ ein Maximum wird für ein gegebenes $v$, oder $v$ ein Minimum für ein gegebenes $r$, muss $R(S - R)$ ein Maximum werden.

Dieses findet statt, sobald $R = \frac{1}{2} S$ ist, d. h. wenn der Widerstand der Armatur gleich dem Widerstande des Magnets ist. Aber thatsächlich ist $I$ nicht constant, sondern $I$ nimmt ab mit zunehmender Magnetisirungskraft. Im Allgemeinen hängt $I$ hauptsächlich von dem weichen Eisen des inducirenden Elektromagnets, verhältnissmässig wenig dagegen von dem Eisen der inducirten Armatur ab.

In den meisten Fällen wird daher $I$ mit wachsendem $R$ und abnehmendem $R'$ abnehmen. Folglich erfordert das Maximum für $\frac{r}{v}$ nach der Gleichung 10, dass $R'$ grösser als $\frac{1}{2} S$ sei. Das Verhältniss von $R'$ zu $\frac{1}{2} R'$ können wir aus der Formel nicht ableiten, ohne das Gesetz der Variationen von $I$ zu kennen.

Durch Experimente, sowie durch das praktische Gefühl, liess man sich bei den meisten dynamoelektrischen Maschinen, welche man gegenwärtig construirt, bestimmen, dem inducirenden Elektromagnet einen etwas geringeren Widerstand zu geben, als derjenige der inducirten Armatur beträgt, was mit der oben entwickelten Theorie in Uebereinstimmung steht.

Da die Nutzarbeit einer dynamoelektrischen Maschine sich unter der Form von Licht, mechanischer Arbeit, Wärme oder elektrolytischer Arbeit darstellt, kann man der Einfachheit halber für alle diese möglichen Fälle den typischen Fall setzen, wobei die Klemmen der Maschine durch einen Leiter vom Widerstande $E$ verbunden sind. Dem allgemeinen Ge-

brauche folgend, nenne man diesen Leiter den äusseren Stromkreis, ein Ausdruck, der kurz diejenige Partie des ganzen Leitungskreises bezeichnet, welche sich ausserhalb der dynamoelektrischen Maschine befindet. Haben wir eine dynamoelektrische Maschine mit einfachem Stromkreise, so ist die Stromstärke im äusseren Stromkreise gleich derjenigen ($c'$), welche den Anker durchfliesst.

Nach dem Ohm'schen Gesetze erhält man dann die Gleichung:

$$c' = \frac{p}{E + R + R'} \tag{12}$$

Aber nach Gleichung 3, 1 und 2 ist:

$$c' = c \frac{I \sqrt{RR'}\, v}{KK'(E + R + R')} \tag{13}$$

Setzt man nun

$$c' = c \tag{14}$$

so ist

$$I = \frac{KK'(E + R + R')}{\sqrt{RR'}\, v} \tag{15}$$

Der Fall, wobei $c' = o$ ist, ist derjenige, in welchem:

$$v = < \frac{KK'(E + R + R')}{I_0 \sqrt{RR'}} \text{ ist,} \tag{16}$$

wobei wir mit $I_0$ den Werth von $I$ bezeichnen, für den $c' = o$ ist. Um dies einzusehen, erinnern wir uns, dass wir gar keinen remanenten Magnetismus voraussetzen. Für alle Geschwindigkeiten, welche der Gleichung 16 entsprechen, wird gar kein Strom erzeugt. Sobald jedoch diese Grenze überschritten wird, ist das elektrische Gleichgewicht des Stromkreises stabil. Jeder geringste Strom, welcher in der Maschine dann in dem

einen oder anderen Sinne durch irgend welche Einflüsse angeregt wird, wird schnell zu einem durch die Gleichung 15 bestimmten Grenzwerth anwachsen in Folge der Verminderung von $T$, welches mit seinem Anwachsen zusammentrifft. Betrachten wir $I$ daher als eine Function von $c$, so haben wir in Gleichung 15 den mathematischen Ausdruck des Stromes, welcher von der dynamoelektrischen Maschine in ihrem stationären Zustande hervorgebracht wird. Setzen wir Gleichung 15 in Gleichung 9 ein, so erhalten wir:

$$r = \frac{E + S}{S} \qquad (17)$$

eine Gleichung, welche, wie bekannt, schon vor 40 Jahren von Joule aufgestellt wurde.

In der dynamoelektrischen Maschine mit Derivation theilt sich der in der Armatur erzeugte Strom $c'$ in zwei Ströme, $c$ im inducirenden Elektromagnete und $(c' - c)$ im äusseren Stromkreise; die Stromstärken sind den Widerständen, welche sie durchlaufen, umgekehrt proportional. Indem man daher stets den Widerstand des äusseren Stromes $E$ nennt, hat man die Gleichung:

$$c R = (c' - c) E,$$

woraus sich ergiebt:

$$c = \frac{E}{R + E} c' \qquad (18)$$

Es beträgt daher nach dem Joule'schen Gesetze die in den drei Theilen des Stromkreises in der Zeiteinheit geleistete Arbeit:

$$\left.\begin{array}{l} Rc'^2 \text{ für die Armatur} \\ R\left(\frac{E}{R+E}\right)^2 c'^2 \text{ für den inducirenden Elektromagnet} \\ E\left(\frac{R}{R+E}\right)^2 c'^2 \text{ für den äusseren Stromkreis.} \end{array}\right\} \quad (19)$$

Hieraus folgt, wenn man mit $r$ das Verhältniss der Totalarbeit zur Nutzarbeit bezeichnet:

$$r = \frac{R' + R\left(\frac{E}{R+E}\right)^2 + E\left(\frac{R}{R+E}\right)^2}{E\left(\frac{R}{R+E}\right)^2} \quad (20)$$

Hieraus folgt:

$$R^2 r = R' \frac{(R+E)^2}{E} + R(R+E)$$

$$R^2 r = \frac{R' R^2}{E} + (R+R')E + R(2R'+R) \quad (21)$$

Nehmen wir jetzt an, dass $R$ und $R'$ gegeben seien und $E$ gesucht würde. Damit $r$ ein Minimum wird, muss stattfinden:

$$E = \sqrt{\frac{R' R^2}{R+R'}} \quad (22)$$

Man hat daher

$$r = 2\sqrt{\frac{R'(R+R')}{R^2}} + \frac{2R'+R}{R} \quad (23)$$

Setzen wir nun $\frac{R'}{R} = e$ (24)

so gehen die Gleichungen 22 und 23 über in die Form:

$$E = \sqrt{\frac{RR'}{1+e}} \quad (25)$$

und $$r = 1 + 2\sqrt{e(1+e)} + 2e \quad (26)$$

Im Interesse des Nutzeffectes muss $r$ der Einheit möglichst nahe kommen, folglich muss $e$ sehr klein sein. Der Schliessungsbogen beträgt sonach annähernd:

$$\left.\begin{aligned} E &= \sqrt{RR'} \\ r &= 1 + 2\sqrt{e} \end{aligned}\right\} \qquad (27)$$

Nehmen wir z. B. an, dass der Widerstand des inducirenden Elektromagnets das 400fache des Widerstandes der inducirten Armatur betrage, d. h. dass $e = 400$ ist, so haben wir annähernd:

$$E = 20\,R' \text{ und } r = 1 + \frac{1}{10}$$

d. h., dass der Widerstand des äusseren Stromkreises das 20fache desjenigen des Ankers, und dass die Nutzarbeit im äusseren Schliessungskreise etwa $\frac{10}{11}$ der durch die Erwärmung der Drähte im Inneren der Maschine verloren gehenden Arbeit beträgt.

Wir haben nunmehr die wichtigeren Gesetze kennen gelernt, welche sich auf die Construction von magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen beziehen, und es ist keine Frage, dass man nur dann, wenn man diese Gesetze in ihrer vollen Tragweite berücksichtigt, eine gute und leistungsfähige elektrische Maschine zu construiren im Stande sein wird.

Nichtsdestoweniger muss der Constructeur ausserdem noch eine grosse Menge von Einzelheiten ins Auge fassen, die von der grössten Bedeutung für den Werth einer elektrischen Maschine werden können und die sich auf die einzelnen Theile der Maschinen beziehen.

Die wichtigsten derselben sind im folgenden Capitel angegeben.

---

# VI.

# Die Construction der einzelnen Theile der elektrischen Maschinen.

Die durch ihre Wirksamkeit bedeutendsten Theile in den elektrischen Maschinen sind die inducirenden Magnete und die Armatur, von deren Construction und zweckmässiger Stellung zu einander der Werth und die Leistungsfähigkeit eines Elektromotors zum grössten Theile abhängt.

1. Die inducirenden Magnete. Die hauptsächlichsten theoretischen Gesetze, welche sich auf die Construction der Magnete im Allgemeinen beziehen, sind in Capitel IX (Anhang) mitgetheilt, und wird es hier nur nothwendig sein, noch einige praktische Winke für die Anfertigung von Magneten zu geben.

Was zuerst die Fabrication von Stahlmagneten anbetrifft, so kann man entweder das Bestreichen von den zu magnetisirenden Stahlstäben mit Stahlmagneten anwenden, oder die Magnetisation des Eisens auf elektrischem Wege vornehmen.

Im ersteren Falle unterscheidet man zwei Methoden, nämlich den einfachen Strich oder den doppelten und getrennten Strich.

Bei dem einfachen Strich legt man das zu magnetisirende Stück mit einer seiner grösseren Seitenflächen auf die entgegengesetzten Pole zweier Stahl-

magnete und streicht dann mit dem entsprechenden Pole eines dritten Magnets in bestimmtem Sinne nach der Längsrichtung des Stabes, dreht dann das zu magnetisirende Stahlstück so um, dass die unten liegende Seite nach oben kommt, und wiederholt die Operation.

Bei dem doppelten Striche setzt man zwei Stahlmagnete mit ihren entgegengesetzten Polen auf die Mitte des Stabes auf und streicht mit beiden Magneten von der Mitte nach den Enden zu.

Will man den Stahlstab auf elektrischem Wege magnetisiren, so bringt man ihn in das Innere einer Drahtspirale, die von einem elektrischen Strome durch flossen wird; es entsteht alsdann an der Seite der Spirale, an welcher — wenn dieselbe dem Beschauer zugekehrt ist — der Strom in der Richtung des Uhrzeigers circulirt, in dem Stahlstücke ein Südpol, an der anderen Seite hingegen ein Nordpol.

Die Stärke eines Magnets hängt hauptsächlich von seinen Dimensionen, von seiner Form und von der Qualität des Stahles ab. (Vgl. Cap. IX, Anhang.) Coulomb constatirte, dass die magnetischen Momente von geometrisch ähnlichen Magneten aus dem gleichen Materiale nahezu proportional den dritten Potenzen ihrer homologen Dimensionen sind und dass in cylindrischen Stäben von gleicher Länge der freie Magnetismus dem Durchmesser proportional ist.

Nach dem ersten Satze wäre das magnetische Moment eines Magnets dem Volumen desselben proportional.

Häcker kam durch Versuche zu dem Resultate, dass für Hufeisenmagnete $Q = 10{\cdot}33\ P^{\frac{2}{3}}$ ist, in welcher Gleichung $Q$ die Tragkraft des Magnets und $P$ sein Gewicht in Kilogramm bezeichnet.

Nach dieser Gleichung würde also ein Magnet von 1102 Kg. sein eigenes Gewicht zu tragen im Stande sein, und die Tragkraft eines Magnets im Verhältniss zu seinem Gewichte wäre um so grösser, je kleiner letzteres ist.

Der Coefficient 10·33 ist jedoch vielleicht etwas zu klein. Elias stellte für diesen Coefficienten den Werth 13·23 fest.

Was den praktischen Werth dieser Coefficienten betrifft, so ist derselbe jedoch nicht besonders gross, denn die in dem Handel vorkommenden Magnete erreichen selten die nach den genannten Formeln angegebene Leistungsfähigkeit und andererseits ist man im Stande, durch besondere Sorgfalt der Construction und gute Auswahl des Stahles, Magnete von beinahe der doppelten Leistungsfähigkeit anzufertigen.

Jamin hat eine Reihe von sehr wichtigen Untersuchungen angestellt, welche die Vertheilung des freien Magnetismus in prismatischen und cylindrischen Magneten und in magnetischen Bündeln, sowie die Bedingungen ihrer grössten Wirksamkeit zum Gegenstand haben. Diese Untersuchungen sind leider zu umfangreich, um hier auch nur im Auszuge erwähnt werden zu können, haben aber eine grosse Bedeutung für die Praxis, wie schon z. B. die aus diesen Untersuchungen hervorgegangene Construction des Blättermagnets, welcher auf Seite 63 beschrieben wurde, zeigt.

Wir verweisen den Leser, der sich in Bezug auf die Stahlmagnete die genaueste Information verschaffen will, auf die in den Verhandlungen der französischen Akademie der Wissenschaften*) veröffentlichten Resultate Jamin's und auf einen Artikel Jamin's im »Journal de Physique« (vol. V, 1876).

Was die Zeitdauer der Einwirkung des magnetisirenden Stromes auf Stahlmagnete anbetrifft, so ist dieselbe nach Frankenheim ohne Einfluss auf die Grösse des sogenannten permanenten Momentes — der Magnetismus der Stahlmagnete ist nämlich nicht permanent im eigentlichen Sinne des Wortes — man kann dasselbe aber dadurch erhöhen, dass man die Magnetisirung mehrere Male wiederholt.

Man erreicht dieses entweder, indem man das Stahlstück zu wiederholten Malen aus der magnetisirenden Spirale herauszieht und wieder hineinführt, oder indem man den magnetisirenden Strom öfters öffnet und schliesst. So oft man diese Operation wiederholt, wächst das magnetische Moment, natürlich nur bis zu einer gewissen Grenze.

Frankenheim fand, dass, wenn er diese Methode auf Stahlstücke anwandte, welche frisch geglüht waren, das permanente Moment $M$, welches der Stahl nach $x$-maliger Magnetisirung annimmt, in einem bestimmten Verhältnisse steht zu dem in dem betreffenden Magnetfeld überhaupt erreichbaren Magnetismus $M$. Dieses Verhältniss ist vollständig unabhängig von der Intensität des Feldes, sowie den Dimensionen und der Coercitiv-

*) Comptes rendus. Vol. LXXV bis LXXXVII.

kraft der Stäbe. Fromme behauptet, dieses Resultat auch für nicht ausgeglühte Stäbe erhalten zu haben.

Eine Methode zur Herstellung sehr kräftiger Stahlmagnete ist die folgende, welche von Elias angegeben wird.

Man wickelt einen 7—8 M. langen Kupferdraht von etwa 3 Mm. Dicke so, dass er eine cylindrische Spirale bildet, und lässt den Strom eines grossen Bunsen'schen- oder Grove'schen Elementes, dessen innerer Widerstand gleich dem der Drahtspirale ist, hindurchgehen, steckt den zu magnetisirenden Stahlstab in die Spirale hinein und schiebt letztere über denselben mehrfach hin und her, von einem Ende zum andern. Bei hufeisenförmigen Magneten wendet man zwei Spiralen an, mit denen man beide Schenkel gleichzeitig magnetisirt.

Was die Vertheilung des Magnetismus auf die Oberfläche des Kernes anbetrifft, so findet man dieselbe nach der von Biot und Coulomb aufgestellten Gleichung, deren Richtigkeit auch von Jamin durch die oben erwähnten Versuche bestätigt wurde, nämlich:

$$y = A\left(\frac{1}{k^x} - \frac{1}{k'\,l-x}\right)$$

welche Gleichung bei einem Magnet von der Länge $l$ die mittlere magnetische Dichtigkeit am Umfang eines Querschnittes im Abstand $x$ von dem einem Ende ausdrückt.

Der Coefficient $A$ hängt nach Jamin speciell von der chemischen Zusammensetzung des Magnets, $k$ hingegen von seiner molekularen Beschaffenheit und (besonders beim Stahl) vom Härtegrade ab. Wenn $l$ sehr gross ist, so geht die Gleichung, da $k$ stets $> 1$ ist, in die einfache Form

$$y = \frac{A}{k^x}$$ über.

Gewöhnlich wird in der Praxis die Vertheilung des Magnetismus etwas unterschätzt, da man bei den meisten Maschinen mit Stahlmagneten nur das Inductionsvermögen der Polenden ausnützt, und man glaubt, dass die inducirende Wirkung der übrigen Theile nicht von Bedeutung sei. Dieses ist jedoch, wie Marcel Deprez durch seinen kleinen Elektromotor*) bewiesen hat, unrichtig; denn durch diesen Motor erzielt man, gerade dadurch, dass der Erfinder einen Siemens'schen Cylinder-Inductor, dessen Axe mit den Magnetschenkeln parallel ist, zwischen den Schenkeln eines Hufeisenmagnets rotiren und den Inductor so von dem längsten Theile der Schenkel beeinflussen lässt, sehr starke Wirkungen.

Um diese Wirkungen richtig beurtheilen zu können, geben wir hier die genauen Dimensionen eines solchen kleinen Motors, sowie die Werthe der Arbeitsleistungen:

| | |
|---|---|
| Die Länge des Hufeisenmagnets, gemessen von den Polflächen bis zum Scheitel des gekrümmten Theiles . . . . . . . . . . . . . | 145 Mm. |
| Innerer Abstand der Schenkel . . . . . . | 33 » |
| Dicke des Magnetbündels . . . . . . . | 25 » |
| Durchmesser des Cylinder-Inductors . . . | 32 » |
| Länge des Eisenkernes . . . . . . . . | 60 » |
| Gewicht des inducirenden Magnets . . . | 1·70 Kg. |
| Gewicht des ganzen Motors . . . . . | 2·83 » |

*) Diese kleine Maschine, sowie die Maschinen von Hopkinson, Perry, Jablochkoff, Trouvé und einige andere haben wir nicht in Cap. I und II erwähnt, da sie bis heute noch, mehr experimentellen als praktischen Werth haben.

Mit einem Motor, der diese Dimensionen hat, erhält man nach Deprez alle Wirkungen wie mit drei Bunsen'schen Elementen, und wenn man denselben umkehrt und als elektromagnetischen Motor benützt, so ist die geleistete Arbeit:

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bei | Anwendung | von | 1 | Bunsen'schen | Elemente | 0·04 | Kgm. |
| » | » | » | 2 | » | Elementen | 0·20 | » |
| » | » | » | 3 | » | » | 0·45 | » |
| » | » | » | 4 | » | » | 0·75 | » |
| » | » | » | 5 | » | » | 1·10 | » |
| » | » | » | 8 | » | » | 1·80 | » |

Was die Anfertigung von Elektromagneten anbetrifft, deren Construction sowohl für den inducirenden Theil, als auch für die Armatur von elektrischen Maschinen wichtig ist, so ist, ausser einer genauen Berücksichtigung der im vorigen Capitel und im Capitel IX (Anhang) gegebenen Formeln, noch die Auswahl des Materials von grosser Wichtigkeit.

Leider ist der Werth der Coefficienten $k$, womit man die Intensität des Feldes und das Volumen des Magnetkernes multipliciren muss, um das magnetische Moment des letzteren zu erhalten, noch nicht mit Sicherheit für alle Eisenarten festgestellt; nach den Untersuchungen von Barlow und Plücker jedoch kennt man folgende Werthe, die wir dem Werke von Fleeming-Jenkin*) entnehmen:

Weiches Schmiedeeisen . . . $k = 32·8$.
Gusseisen . . . . . . . . . . $k = 23·0$
Weicher Stahl . . . . . . . . $k = 21·6$

*) Electricity and Magnetism. p. 124.

| | |
|---|---|
| Gehärteter Stahl . . . . . . . | $k = 17·4$ |
| Weicher Gussstahl . . . . . | $k = 23·3$ |
| Harter » . . . . . . | $k = 16·1$ |
| Nickel . . . . . . . | $k = 15·3$ |
| Kobalt . . . . . . . . . . . | $k = 32·8$ |

Wenn man einen Elektromagnet anzufertigen wünscht, so nimmt man am besten einen anderen Elektromagnet zum Muster und macht seine Dimensionen denen des letzteren proportional. Dann verhält sich nach den Gesetzen von Dub die Stromstärke, welche den Kern des neuen Magnets zu sättigen vermag, zu der des Muster-Elektromagnets wie die dritten Potenzen der homologen Dimensionen der beiden Kerne.

Die Spirale berechnet man dann nach dem Gesetze in Capitel V und IX, mit Berücksichtigung des äusseren Widerstandes.

Die Armatur. In Bezug auf diesen Theil der Maschine ist ein anderer Punkt, der sich auf die Elektromagnete bezieht, von grosser Wichtigkeit, nämlich die Veränderlichkeits-Perioden bei der Magnetisirung eines Eisenkernes. Ein Magnet nimmt nämlich seinen Magnetismus weder augenblicklich an, noch verliert er ihn augenblicklich, sondern bei der Schliessung oder Entstehung des Stromes wächst das magnetische Moment des Kernes ziemlich rasch, erreicht dann sein Maximum und nimmt beim Oeffnen oder Verschwinden des Stromes wiederum ab, bis zu einer Grenze, die sich dem Nullpunkt mehr oder weniger nähert. Ganz verschwindet der Magnetismus nie, sondern es bleibt stets ein wenig remanenter Magnetismus zurück. Die Dauer der Zunahme und Ab-

nahme des Magnetismus hängt von verschiedenen Ursachen ab. Der Hauptgrund ist, dass die Coercitivkraft des Eisens nie gleich Null ist; die einzelnen Moleküle des Metalles besitzen eine gewisse Trägheit, welche sie hindert, die Stellung sofort wieder einzunehmen, die sie vor der Magnetisirung des Eisens hatten. Ein anderer Grund liegt in dem Auftreten der durch Induction hervorgerufenen Extraströme, welche beim Oeffnen oder Verschwinden des Hauptstromes eine demselben gleiche Richtung haben, und ihn und seine magnetisirende Wirkung in Folge dessen verlängern.

Diese Thatsache hat in den Armaturen der elektrischen Maschinen zur Folge, dass das magnetische Maximum des Eisenkernes nicht da abnimmt, wo es der Theorie nach abnehmen sollte, sondern an einer anderen Stelle. Wenn wir z. B. unserer Betrachtung Fig. 8 zu Grunde legen und annehmen, dass sich der Ring entgegengesetzt der Richtung des Uhrzeigers bewegt, so nimmt das Maximum der Magnetisirung des Eisenkernes, und demnach der Stromstärke nicht gleich in den Spiralen ab, nachdem sie die Pole $S$ und $N$ passirt haben, sondern es bleibt der Magnetismus des Eisenkernes und die Stromstärke in diesen Ringspiralen noch für einige Momente auf derselben Höhe, so dass die Abnahme erst einige Grad links von $S$ und rechts von $N$ eintritt. Die neutralen Punkte verschieben sich in Folge dessen ebenfalls und sind nicht bei $p$ und $p'$, sondern unterhalb $p$ und oberhalb $p'$ zu suchen, und dieser Umstand macht es nöthig, die Stellung der Bürsten, welche den Strom ableiten, ebenfalls zu ändern und

dieselben nicht an den Endpunkten der die Stellen $p$ $p'$ verbindenden Horizontalen aufzustellen, sondern an den Punkten, welche wirklich neutral sind. Die Sache wird noch complicirter dadurch, dass der Grad der Verschiebung der neutralen Punkte von der grösseren oder geringeren Geschwindigkeit der Rotation der Armatur abhängt; denn wenn sich die Armatur schnell von rechts nach links bewegt, so ist jeder betreffende Punkt des Ringes schon weit vorgeschritten, ehe die Abnahme des Magnetismus des Eisenkernes und des in den Spiralen inducirten Stromes sein Minimum erreicht, während bei langsamer Bewegung der Armatur die theoretischen und wirklichen neutralen Punkte der Armatur nahe bei einander liegen. Dieser Unterschied der Lage der neutralen Punkte wird in den dynamoelektrischen Maschinen noch dadurch gesteigert, dass bei schneller Rotation die Stromstärke, der Magnetismus der inducirenden Magnete, die Magnetisirung des Eisenkernes der Armatur, und folglich auch die Rückwirkung auf die Armaturspiralen wächst, während bei langsamer Rotation diese Factoren von geringerem Werthe sind. Es liegt daher auf der Hand, dass man in Zukunft daran denken muss, eine automatische Einstellung der Bürsten zu bewirken, welche dieselben stets auf die jeweiligen neutralen Punkte einstellt, wie das schon theilweise durch einige Regulatoren geschieht.

Eine andere Folge des Factums, dass der Maximal-Magnetismus in einer Armatur nicht sofort verschwindet, ist die Erhitzung der Eisenkerne der Armatur, welche die Wirksamkeit der elektrischen Maschinen sehr beeinträchtigt, und es wird daher in

Zukunft ein Princip der Constructeure von elektrischen Maschinen sein, die Eisenkerne ganz fortzulassen; jedenfalls aber muss man die die Verschiebung der neutralen Punkte zum Theile veranlassenden Peripherieströme zu beseitigen suchen, was man durch ein Spalten der Eisenkerne oder durch Anwendung von Drahtbündeln anstatt solider Eisenmassen wenigstens theilweise erreicht, wie bereits bei Beschreibung der Maschinen von Weston, Brush, Gramme u. A. gesagt wurde.

Die Erhitzung der Armatur ist jedoch nicht nur die Folge von remanentem Magnetismus im Eisenkerne, sondern hängt auch von dem Umstande ab, dass der Widerstand im Innern von manchen Maschinen zu gross ist, weil ein Theil der Armaturspiralen der inducirenden Wirkung der Magnete nicht ausgesetzt wird und dem Strome, welcher diese uninducirten Spiralentheile durchlaufen muss, grosse Hindernisse in den Weg legt, zu deren Ueberwindung eine Arbeit nöthig wird, die sich als Wärme äussert.

Es ist also eine Hauptaufgabe des Constructeurs, in der Armatur womöglich alle Spiralentheile den inducirenden Magneten gleichzeitig auszusetzen, oder wo dieses nicht geschehen kann, wenigstens die Theile der Armatur, welche sich in den der Einwirkung der inducirenden Magnete nicht zugänglichen oder in den neutralen Stellen befinden, temporär aus dem Stromkreise auszuschliessen, wie es in der Brush'schen Maschine z. B. geschieht.

Das Aushöhlen des Armaturkernes und das Leiten von kaltem Wasser durch denselben ist nur ein sehr

unvollkommenes Aushilfsmittel. Die schädlichen Folgen der Erhitzung können allerdings dadurch modificirt werden, aber die durch die Erhitzung verloren gegangene Arbeit wird nicht wieder eingebracht, und ebensowenig ist die Durchlöcherung der Armatur zum Zwecke einer abkühlenden Ventilation zu empfehlen, da dadurch die Oberfläche der Armatur vergrössert wird und zur Ueberwindung des Luftdruckes Arbeit verwendet werden muss, die für den Nutzeffect der Maschine verloren geht. Die rationelle Hilfe für den Uebelstand der Erhitzung der elektrischen Maschinen liegt aber nicht in einer Modificirung der Folgen der Erhitzung, sondern in einer Vermeidung der Ursachen. Diese Abhilfe durch gute Construction zu erzielen, ist ein Problem, welches der praktischen Lösung dringend bedarf und nur durch genaue Berücksichtigung der in Capitel V gegebenen theoretischen Gesetze gelöst werden kann.

Die Stellung der Armatur zu den Magnetpolen soll eine solche sein, dass die Armatur sich in einem möglichst starken magnetischen Felde bewegt, und dieses wird der Fall sein, wenn sie möglichst nahe den Magnetpolen rotirt; denn die Intensität eines magnetischen Feldes ist gleich der magnetisirenden Stärke des Poles, dividirt durch das Quadrat der Entfernung von dem Pole.

Um die Armatur dem Pole möglichst nahe rotiren zu lassen, müssen die dem Pole zugekehrten Flächen derselben verhältnissmässig glatt sein und es ist daher darauf zu sehen, die Drahtwindungen der Armatur so symmetrisch wie möglich zu wickeln oder ihren Kern, wie in der Brush'schen Maschine, durch zweckmässige

Construction den Polschuhen der inducirenden Magnete recht nahe zu bringen.

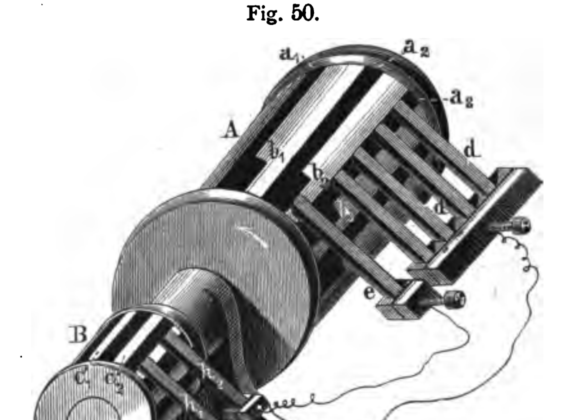
Die Collectoren und Commutatoren der elektrischen Maschinen sind diejenigen Theile, welche der grössten Sorgfalt bei der Construction bedürfen, erstens, weil sie durch schlechte Construction sich sehr leicht in Folge von Reibung und Funkenbildung abnützen, und zweitens, weil gerade durch schlechte Collectoren oder Commutatoren ein grosser Theil der Arbeitskraft der Maschinen unnütz verloren geht.

Der Energieverlust bei reibenden Theilen einer Maschine ist proportional der Umdrehungszahl der Axe und dem Durchmesser der reibenden Fläche. Aus diesem Grunde sollte man die reibenden Flächen nicht nur in den Lagern der Maschinen, sondern auch bei den ableitenden Bürsten und Commutatoren so viel als möglich verringern, wie Professor Perry vorschlägt. Ausserdem aber sollte man die schädliche Einwirkung der Funkenbildung an den genannten Theilen zu vermeiden suchen, was man dadurch erreichen kann, dass man die Funkenbildung auf verschiedene Theile des Collectors vertheilt und so nur kleine Funken entstehen lässt, welche nicht im Stande sind, die Metalltheile zu schmelzen oder zu oxydiren.

Edison erzielt dieses, indem er, um den Collectorfunken grosser Maschinen auf ein Minimum zu beschränken (Fig. 50), die Isolirung $a_1$ $a_2$ $a_3$ der Collectorsegmente erweitert, die leitenden Stege $b_1$ $b_2$ $b_3$ an dem einen Ende des Collectorcylinders $A$ verengert und an jeder Seite von diesem Theile des Cylinders eine einzelne Bürste $e$ anbringt, die er die isolirte

Bürste nennt und deren stützendes Ende nicht in einer Linie mit den Hauptbürsten steht. Die isolirte Bürste ist nicht direct mit den Hauptbürsten *d, d,* sondern vorerst durch die Bürsten $h_1$, $h_2$, mit einem Unterbrechungscylinder *B* verbunden. Dieser Cylinder hat leitende und isolirende Stege, die mit denen übereinstimmen, auf welchen die isolirte Bürste *e* ruht, und

Fig. 50.




kann entweder getrennt am Ende der Maschinenwelle angebracht werden, oder wie in der Figur eine Fortsetzung des Collectorcylinders *A* bilden, in welchem Falle seine leitenden Stege $c_1$ $c_2$ von denen des Collectorcylinders *A* isolirt werden müssen. Beim Betriebe der Maschine setzen sich nun der locale und ein Theil des Hauptstromes durch jede isolirte Bürste nach ihrem Durchgange durch die Hauptbürsten über jeden Com-

mutatorsteg fort, so dass an den Enden der Hauptbürsten kein Funken entsteht. Wenn eine isolirte Bürste den Collectorsteg verlässt, wird der durch denselben gehende Strom auf dem Unterbrechungscylinder *B* unterbrochen, was gleichzeitig auf dem Collectorcylinder *A* durch die isolirte Bürste *e* geschieht; hierdurch wird der Funken mehrfach zerlegt und sehr vermindert.

Alle die in diesem Capitel gegebenen Winke in Bezug auf die Anfertigung der einzelnen Theile von elektrischen Maschinen sind für den Fabrikanten elektrischer Maschinen von grosser Bedeutung, erschöpfen jedoch durchaus nicht die Einzelheiten, denen er seine Sorge zuwenden muss, da die zu überwindenden Schwierigkeiten bei der Construction von Elektromotoren zu mannigfaltiger Art sind, um sie alle hier zu erwähnen.

Es konnte eben nur auf die Hauptpunkte aufmerksam gemacht werden, deren Berücksichtigung die Basis einer guten Construction bildet.

Vorzüglich hat der Constructeur noch seine Aufmerksamkeit denjenigen constructiven Eigenthümlichkeiten zu schenken, die sich

1. auf die Solidität und Einfachheit der Construction in mechanischer Beziehung;

2. auf die leichte Zugänglichkeit und Reparaturfähigkeit der einzelnen Theile der Maschine;

3. auf die Kostspieligkeit der Maschine beziehen.

Die Besprechung dieser drei Punkte gehört jedoch nicht in eine ausschliesslich der Elektrotechnik gewidmete Abhandlung und müssen wir den Leser in dieser Hinsicht auf Werke über mechanische Technik verweisen. Wir

wollen daher nur kurz noch einige Beispiele erwähnen, die man als typisch für die Beachtung oder Missachtung der drei genannten Punkte ansehen kann.

Was solide und einfache Construction anbetrifft, so zeichnen sich unter den übrigen Maschinen aus die Maschinen der Amerikaner Brush und Edison und in Bezug auf den Collector die Maschinen von Gramme und ihre Nachahmungen.

Die Brush'sche Maschine kann auch als ausgezeichneter Typus einer Maschine gelten, deren einzelne Theile bequem zugänglich und leicht reparirbar sind, doch in letzterer Hinsicht verdienen auch die grösste Anerkennung die Wechselstrom-Maschine und die neueste dynamoelektrische Maschine von Siemens & Halske, sowie andere Maschinen, in denen jede einzelne Spule ersetzt werden kann, ohne die anderen Theile zu derangiren, so besonders auch die Maschine von Bürgin.

Eine unpraktische und zu complicirte Construction hat die Fitzgerald'sche Maschine wegen ihrer eigenthümlich geformten Polschuhe und eine grosse Constructionsschwäche ist der aus Holz bestehende innere Theil des Gramme'schen Ringes.

Was den Kostenpunkt anbetrifft, so ist derselbe gegenwärtig eines der Hauptthindernisse der ausgedehnteren Verwerthung der elektrischen Maschinen und hängt dieser wieder indirect von der complicirten oder einfachen Construction der Maschinen ab. Es steht zu erwarten, dass in dieser Hinsicht eine bedeutende Reduction eintreten wird, sobald man den Maschinen grössere Dimensionen giebt, da grosse Maschinen wie aus

den Auseinandersetzungen in dem folgenden Capitel hervorgeht, im Verhältniss zu ihren Leistungen weit billiger sind als kleine Maschinen, und ist es nach den gemachten Erfahrungen überhaupt stets vortheilhaft, eine möglichst grosse Arbeitskraft an einem Punkte zu centralisiren und dieselbe alsdann in verschiedene Richtungen zu vertheilen. Die in Capitel IV beschriebenen Secundär-Batterien versprechen zu letzterem Zwecke für die Zukunft grosse Dienste zu leisten.

---

# VII.

## Die Anwendung der elektrischen Maschinen zur Erzeugung des elektrischen Lichtes.

Obgleich wir uns in diesem Bande nicht die Aufgabe gestellt haben, die Anwendungen der elektrischen Maschinen näher zu besprechen, sondern nur auf die Maschinen selbst und ihre Anfertigung Rücksicht zu nehmen wünschten, so halten wir es dennoch am Platze, wenigstens eine kurze Uebersicht der verschiedenen Anwendungen zu geben, da dieselbe zum Verständniss der constructiven Eigenheiten der elektrischen Maschinen beitragen wird, und aus demselben Grunde haben wir auch die wichtigeren vergleichenden Experimente in Bezug auf die Leistungen der Lichtmaschinen in dieses Capitel aufgenommen, da aus den gegebenen Daten über Lichtstärke und Construction der Lichtmaschinen

und über den Verbrauch von Betriebskraft ziemlich correcte Schlüsse in Bezug auf den individuellen Werth der einzelnen Maschinen gezogen werden können.

Die wichtigste Anwendung, die die elektrischen Maschinen gefunden haben, ist unzweifelhaft ihre Verwendung zur Erzeugung des elektrischen Lichtes und erst durch die Erfindung der elektrischen Maschinen wurde die elektrische Beleuchtung im grossen Massstabe möglich.

Wie bereits gesagt wurde, müssen die elektrischen Maschinen, welche zur Erzeugung des elektrischen Lichtes bestimmt sind, nicht nur einen starken Strom im äusseren Stromkreise produciren, sondern der Strom derselben muss auch eine ziemlich hohe Spannung haben, welche wiederum in gewissen Grenzen bleiben muss, weil bei zu hoher Spannung der Lichtbogen unruhig wird; der innere Widerstand der Maschinen muss also sehr zweckmässig regulirt werden.

Der innere Widerstand der normalen Siemens-schen Lichtmaschinen beträgt etwa 0·7 oder 0·75 Ohms; Gramme's Maschinen haben durchschnittlich einen Widerstand von etwa 1 Ohm, doch baut Gramme auch Maschinen, welche nur 0·6 Ohms Widerstand besitzen. Je höher natürlich der innere Widerstand der Maschine, desto grösser ist die Intensität des Stromes und mit Maschinen, die einen Strom von geringerer Intensität liefern, kann man nur einen Flammenbogen speisen, wie z. B. mit den normalen Maschinen von Siemens und Bürgin, während die Brush'sche Maschine einen Strom von solcher Spannung erzeugt, dass man 20, ja 40 Lampen in den Stromkreis ein-

schalten kann. Das Letztere ist jedoch in gewisser Hinsicht kein Vortheil, da durch Ströme von hoher Spannung sowohl die Farbe des Lichtes, als auch die Ruhe desselben sehr beeinträchtigt wird, wie durch die Brush'sche Strassenbeleuchtung in London deutlich bewiesen wird.

Bei Strömen von verhältnissmässig grosser Quan tität und geringer Spannung ist das Licht der Regulatorlampen ruhig und von dem Sonnenlichte ähnlicher Farbe, da ein grosser Theil seiner Leuchtkraft von der Incandescenz der Elektroden und nur ein kleiner Theil von dem flackernden Flammenbogen herrührt.

Der vergleichende Werth der bisher für die elektrische Beleuchtung construirten Maschinen ist mit Genauigkeit schwer zu bestimmen, da wie bereits in Capitel III erwähnt wurde, ganz unparteiische und auf derselben Basis beruhende Messungen fehlen, und der Leser muss daher mit den wichtigsten derjenigen Daten vorlieb nehmen, welche bisher vorliegen.

Einige der interessantesten Mittheilungen über vergleichende Versuche mit Lichtmaschinen verschiedener Construction findet man in dem von John Tyndall und Douglas verfassten und unter dem Namen: »Report of the Trinity-House at the South-Foreland lighthouse« bekannten Berichte, welcher die Resultate der von einer englischen Commission im Jahre 1877 veranstalteten Experimente mit Maschinen zur Production des Lichtes für Leuchtthürme enthält.

Zu diesen Experimenten wurden benützt:

1. Eine Holmes'sche magnetelektrische Maschine zur Erzeugung von Wechselströmen.

2. Eine Alliance-Maschine, ebenfalls zur Erzeugung von Wechselströmen.

3. Eine Gramme'sche Maschine.

4. Zwei gekoppelte Gramme'sche Maschinen.

5. Eine grosse Siemens'sche Maschine.

6. Eine kleine Siemens'sche Maschine.

Die Gramme'schen und Siemens'schen Maschinen waren dynamoelektrische Maschinen zur Erzeugung von continuirlichen Strömen von gleicher Richtung.

Die Siemens'schen Maschinen stammten aus der Fabrik von Siemens' Brothers in London und die Gramme'schen Maschinen waren von der »British Telegraph Manufactury« in London geliefert worden, welche von Robert Sabine geleitet wird.

Die Alliance-Maschine und die Holmes'sche Maschine waren bereits auf den South Foreland-Leuchtthürmen, woselbst die Versuche gemacht wurden, in Gebrauch.

Nach verschiedenen vorbereitenden Versuchen wurden am 18. Januar die Maschinen in Bezug auf die von ihnen gelieferten Lichtstärken untersucht. Diese Lichtstärken wurden für zerstreutes Licht und für durch den Leuchtthurm-Reflector concentrirtes Licht bestimmt; jedoch muss man in der folgenden Tabelle von den durch die dynamoelektrischen Maschinen erzeugten Lichtstärken etwa 60 Percent in Abzug bringen, wenn man die Lichtstärke als ein Zeichen der Leistungsfähigkeit der Maschine auffassen will, da die Stellung der Kohlenelektroden in den Lampen für diese

Maschinen eine weit günstigere war, als für die Wechselstrom-Maschinen.

Die Tabelle enthält den aus mehreren Versuchen gefundenen mittleren Werth der Lichtstärken.

| | Im verdichteten Lichte | im zerstreuten Lichte |
|---|---|---|
| | Englische Normalkerzen | |
| 1. Holmes-Maschine . . | 1494 | 1494 |
| 2. » » . . | 2721 | 2721 |
| 3. Alliance- » . . | 1953 | 1953 |
| 4. Gramme- » . . | 5333 | 3215 |
| 5. » » . . | 9126 | 5501 |
| 6. Siemens- » . . | 14573 | 8784 |
| 7. » » . . | 5920 | 3568 |

Die Lichtstärke einer Gramme-Maschine verhielt sich zu der Lichtstärke der kleinen Siemens'schen Maschine (Nr. 58) wie 100 zu 100·6, die der Holmes-Maschine zu der der kleinen Siemens-Maschine wie 100 zu 384.

Das Verhältniss der Lichtstärke der Siemens-Maschine 58 zu der Lichtstärke der Maschine 68 stellte sich wie 100 zu 109·5.

Die beiden Leuchtthürme von South Foreland haben verschiedene Höhe; das Licht des einen war 211·7 Mtr. und das des anderen 180·6 Mtr. von dem Maschinenraume entfernt. Es wurde nun dieser Entfernungs-Unterschied dazu benutzt, um den Verlust an Licht zu messen, welchen jede der Maschinen durch die Leitung des Stromes aus dem Maschinenraume zur Lampe auf dem hohen und niedrigen Leuchtthurme erlitt. Das angewendete Kabel bestand aus zwei mit einander vereinigten Kabeln aus je 7 Kupferdrähten

Nr. 14 (Birminghamer Benennung) und die Leitung ging von dem Maschinenraume durch beide Leuchtthürme nach der in dem Maschinenraume befindlichen Lampe zurück.

Der Lichtverlust betrug bei der
Holmes-Maschine . . . . . . 29·8 Percent
Gramme- » . . . . . . 58·6 »
Siemens- » . . . . . . 80·4 »

Am 6. März wurden die Messungen fortgesetzt, nachdem die Collectorscheiben und die Bürsten in den Siemens'schen Maschinen durch neue ersetzt worden waren; die Lichtintensitäten betrugen:

Bei Nr. 58 Siemens-Maschine . . 4446 Normalkerzen
» » 68 » » . . 6513 »

Für beide Maschinen zusammen also 11009 Normalkerzen.

Wenn man Maschine 58 und 68 zusammenkoppelte, so gaben sie ein Licht von 13.179 Normalkerzen, d. h. 19·7 Percent mehr als die Summe des Lichtes bei den einzelnen Maschinen.

Die Holmes- und die Alliance-Maschine, welche bereits seit 1872 in den Leuchtthürmen aufgestellt waren, hatten seit jener Zeit bedeutend an Strom- und Lichtstärke durch die Abschwächung des Magnetismus der Stahlmagnete verloren; die Holmes'sche Maschine etwa 22 Percent, die Alliance-Maschine etwa 10 Percent.

Ausserdem wurden verschiedene andere Versuche angestellt, die wir jedoch hier nicht im Einzelnen beschreiben können.

Das Gesammtresultat ist aus der beifolgenden Tabelle I ersichtlich, und gaben demnach die Siemens-schen Maschinen die besten Resultate.

**Tabelle I.**

| Name der Maschine | Preise in Mark | Maasse in Millimeter | | | Gewicht in Kilogramm | Kraftverbrauch in Pferdekraft | Umdrehungen in der Minute | Lichtstärke in Normalkerzen, engl. | | Lichtstärke auf 1 Pferdekraft in Normalkerzen, engl. | | Querschnitt der Kohlenspitzen in Millimeter | Rangnummer |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Länge | Breite | Höhe | | | | Verdichteter Strahl | Zerstreuter Strahl | Verdichteter Strahl | Zerstreuter Strahl | | |
| Holmes . . . . . | 11000 | 1499 | 1321 | 1575 | 2607 | 3·2 | 400 | 1523 | 1523 | 476 | 476 | 9·5 × 9·5 | 6 |
| Alliance . . . . . | 9880 | 1321 | 1372 | 1473 | 1851 | 3·6 | 400 | 1953 | 1953 | 543 | 543 | 9·5 × 9·5 | 5 |
| Gramme Nr. 1 . . | 6400 | 787 | 787 | 1245 | 1295 | 5·3 | 420 | 6663 | 4016 | 1257 | 758 | 12·7 × 12·7 | 4 |
| » » 2 . . | 6400 | 787 | 787 | 1245 | 1295 | 5·7 | 420 | 6663 | 4016 | 1257 | 758 | 12·7 × 12·7 | 4 |
| Siemens, grosse . . | 5300 | 1143 | 737 | 356 | 592 | 9·8 | 480 | 14818 | 8932 | 1512 | 911 | 17·5 × 17·5 | 3 |
| » kleine Nr. 58 | 2000 | 660 | 737 | 254 | 191 | 3·5 | 850 | 5539 | 3339 | 1582 | 954 | 12·7 × 12·7 | 2 |
| » » » 68 | 2000 | 660 | 737 | 254 | 191 | 3·3 | 850 | 6864 | 4138 | 2080 | 1254 | 12·7 × 12·7 | 1 |
| Gekoppelt | | | | | | | | | | | | | |
| 2 Holmes . . . . | 22200 | 2997 | 1321 | 1575 | 5214 | 6·5 | 400 | 2811 | 2811 | 432 | 432 | 12·7 × 12·7 | — |
| 2 Gramme. . . . | 12800 | 1575 | 787 | 1245 | 2591 | 10·5 | 420 | 11396 | 6869 | 1085 | 654 | 17·5 × 17·5 | — |
| 2 Siemens (Nr. 58 u. 68) | 4000 | 1321 | 737 | 254 | 381 | 6·6 | 850 | 14134 | 8520 | 2141 | 1291 | 17·5 × 17·5 | — |

Man muss aber nicht vergessen, dass der Bericht über die auf den South Foreland-Leuchtthürmen im Jahre 1877 angestellten Versuche sich auf Maschinen älterer Construction bezieht. Seit jener Zeit sind die elektrischen Maschinen und besonders die Gramme-schen Maschinen sehr verbessert worden, wie die Resultate zeigen, welche dieselben nach dem Berichte der Militär-Ingenieurschule zu Chatam während der im Winter 1879/80 angestellten Versuche lieferten.

Dieser Bericht ist insofern von Wichtigkeit, als die gegebenen Daten durch eine grosse Anzahl sorgfältig ausgeführter Experimente gefunden wurden; es ist jedoch unmöglich, den ganzen Bericht, des grossen Umfanges wegen, hier wiederzugeben, und beschränken wir uns daher auf ein Citiren der wichtigsten Urtheile, sowie auf die, in der auf Seite 197 abgedruckten Tabelle II enthaltenen Daten, welche wir der »Elektrotechnischen Zeitschrift«*) entnehmen.

Aus der Tabelle geht hervor, wenn man die durch die verschiedenen Maschinen gelieferten mittleren Lichtstärken per 1 Pferdekraft berechnet, dass dieses Mal die Gramme'schen Maschinen sehr gute Resultate ergaben, denn die Lichtstärke per 1 Pferdekraft beträgt in englischen Normalkerzen:

| | |
|---|---|
| Für zwei Siemens'sche Maschinen neben einandergeschaltet | 1428 |
| Gramme-Maschine, Modell *D* | 1821 |
| » » » *C* | 2048 |
| Zwei Gramme-Maschinen nebeneinander geschaltet | 1916 |
| Wilde'sche Maschine | 877 |

*) E. Z. 1881, p. 67.

**Tabelle II.**

| Stromerzeuger | Tourenzahl | Stromstärke Ampère | Elektromotorische Kraft Volts | Kraftverbrauch in Pferdestärken | Percentsatz der im Stromkreise gewonnenen elektr. Arbeit | Geleistete Nutzarbeit im Lichtbogen in Percenten | Lichtstärke in Normalkerzen | Preis in Pfund Sterl. | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zwei Siemens, mittlerer Grösse, nebeneinander geschaltet . . . . . | 680 | 83·9 | 79·55 | 13·4 | 73 | 39·49 | 19140 | 244 | Die betreffenden Lichtmessungen erfolgten mit geneigten Kohlenstäben |
| Gramme, Modell D . . | 500 | 93·78 | 88·72 | 15·1 | 89 | 47·79 | 27500 | 360 | (ditto) |
| » » D . . | 475 | 91·29 | 83·77 | 12·7 | 88 | 46·37 | 22500 | 360 | (ditto) |
| » » C . . | 1200 | 81·22 | 69·9 | 9·52 | 85 | 54·48 | 19500 | 240 | (ditto) |
| Zwei Gramme, Modell A, nebeneinander geschaltet | 875 | 68·8 | 88·7 | 9·55 | 88 | 41·71 | 18300 | 160 | (ditto) |
| Wilde, Marine-Modell . . | 500 | — | — | 6·50 | — | — | 5700 | 450 | Gesammtlicht zweier Lampen mit Reflectoren. |

Die allgemeinen Vorzüge und Nachtheile der Gramme'schen Maschine *D* und der Siemens'schen Maschinen sind in den folgenden Kritiken zusammengefasst:

Gramme, Modell *D*.

Vorzüge.

1. Dieser Stromerzeuger giebt ein bedeutend kräftigeres Licht als jedes andere aller versuchten Maschinen.

2. Die Bedienung der Maschine kann auch weniger geübten Leuten anvertraut werden, ohne befürchten zu müssen, dass die Drähte durch Erwärmung oder Funkenbildung leiden.

3. Bei einem sechsstündigen continuirlichen Betriebe unter denselben Bedingungen, wie bei den zwei Siemens-Maschinen neben einander eingeschaltet, und mit einem Strome von 58·5 (Ampère) stieg die Temperatur der Drähte nur um 71° F. Unter den gleichen Bedingungen stieg die Temperatur der Trommel der Siemensschen Maschinen um 110° F. und der Elektromagnete um 85° F. bei einer Stromstärke von 55 Ampère. Die Elektromagnete der Gramme'schen Maschine erwärmen sich stärker als der rotirende Ring, so dass man die Maximal-Erhöhung der Temperatur beobachten kann, ohne die Maschine anhalten zu müssen.

4. Fehlen der Funken. Die Funkenbildung an den Bürsten ist ausserordentlich schwach und oft unbemerkbar; es ist in Folge dessen die Abnützung des Stromsammlers und der Bürsten ausserordentlich gering. Die Bürsten sind leicht in ihre richtige Lage zu bringen und sind dabei so angeordnet, dass man sie, wenn

dieses erforderlich erscheint, in der Längenrichtung des Stromsammlers verschieben kann.

5. Einfachheit. Da die Maschine nur eintheilig, so sind die Verbindungen sehr einfach und leicht zu verfolgen.

6. Es wurde im Lichtbogen eine Nutzarbeit von 47·8 Percent mit einem Stromkreise von 0·498 Ohms äusserem Widerstand geleistet.

7. Die Tourenzahl (500) ist geringer, als die der zwei mittleren Siemens und weniger als halb so gross, wie die der Gramme *C* (1200); es ist in Folge dessen auch die Abnützung der Maschine und der bewegten Theile geringer.

### Nachtheile.

Der Kostenpreis einer Gramme'schen Maschine, Modell *D*, ist 360 Pfund Sterling, also ungefähr 1½ mal so gross, als der zwei Siemens-Stromerzeuger.

## Gramme, Modell *C*.

### Vorzüge.

1. Die Maschine kann durch nur wenig geübte Arbeiter bedient werden, ohne die Beschädigung der Drähte durch Ueberhitzung befürchten zu müssen. In dieser Hinsicht übertrifft dieser Stromerzeuger alle übrigen versuchten Apparate.

2. Bei einem continuirlichen Betriebe von sechs Stunden unter denselben Bedingungen wie bei den zwei Siemens und Gramme Modell *D* und mit einer Stromstärke von etwa 83·15 Weber erhob sich die Temperatur der Drähte nur um 30° F.

3. Fehlen der Funken, siehe Vorzüge 4 von Gramme *D*.

4. Compactheit, siehe Vorzug 7 von Gramme *D*.

Der Preis dieser Maschine von 240 Pfund Sterling ist nahezu derselbe als der zweier Siemens mittlerer Grösse mit Collector. Der Strom kann, wenn nothwendig, zur Herstellung zweier Lichter mit einer Blandy-Rolle getheilt werden.

Nachtheile.

1. Die erzielte Lichtstärke ist nur 19500 Kerzen, ungefähr so gross wie die der zwei Siemens und etwa 30 Procent kleiner wie die der Gramme *D* bei 500 Touren.

2. Die grosse Geschwindigkeit von 1200 Touren pro Minute dürfte zu beträchtlicher Abnützung der Maschine und bewegten Theile Veranlassung geben.

Zwei *A* Gramme nebeneinander geschaltet.

Vorzüge.

1. Billigkeit. Der Preis der zwei Stromerzeuger mit Collector ist nur 170 Pfund Sterling.

2. Diese Stromerzeuger haben ziemlich dieselbe geringe Erwärmung wie die übrigen Gramme.

3. Fehlen der Funken, siehe Vorzug 4 von Gramme *D*.

4. Bei Benützung der einzelnen Stromerzeuger können zwei Lichter hergestellt werden.

Nachtheile.

1. Die von diesen Stromerzeugern gelieferte Lichtmenge, welche nur 18500 Kerzen beträgt, ist für die militärischen Bedürfnisse nicht ausreichend.

2. Wenn die Stromerzeuger nebeneinander geschaltet sind, so tritt leicht eine Umkehrung des Magnetismus ein und werden dadurch grosse Störungen und Zeitverluste verursacht.

Zwei Siemens mittlerer Grösse nebeneinander geschaltet.

Vorzüge.

1. Es können bei Benützung der einzelnen Stromerzeuger zwei Lichter erzeugt werden.

2. Die erzeugte Lichtstärke ist bedeutend grösser, wie bei den anderen versuchten Maschinen mit Ausnahme von den Gramme *D* und *C*.

Nachtheile.

1. Das leichte Erwärmen der Drähte, wenn das Bedienungspersonal nicht mit der Verwendung dieser Stromerzeuger sehr vertraut ist; auch ist es ein Nachtheil, dass die rotirende Trommel sich stärker erwärmt als die Elektromagnete.

2. Wenn die Stromerzeuger nebeneinander geschaltet werden, so tritt leicht eine Umkehrung des Magnetismus ein und werden dadurch grosse Störungen und Zeitverluste verursacht.

3. Ein unregelmässiges Functioniren der Lampe bewirkt starke Funkenbildung an den Bürsten und dadurch eine rasche Abnützung des Stromsammlers und der Bürsten.

Es ist aus diesen Gründen eine grössere Erfahrung nothwendig, um mit diesen Maschinen zufriedenstellend zu arbeiten, als bei den Gramme'schen Maschinen erforderlich ist.

Ein Bericht von einer amerikanischen Commission über vergleichende Versuche mit Lichtmaschinen ver-

schiedener Construction ist in dem Journale des Franklin-Instituts veröffentlicht (1878 Bd. 103 Seite 289—361) und sind die Endresultate dieser Versuche aus der Tabelle III ersichtlich. Die Gramme'sche-Maschine war eine Maschine, construirt nach Modell 73.

Die amerikanischen Berichterstatter, die Herren Thomson und Houston, machen die Bemerkung, dass, wenn man die von der amerikanischen Commission erhaltenen Resultate mit den Resultaten der englischen Versuche von 1877 vergleichen will, man die in Tabelle III angegebene Lichtstärke des verdichteten Strahles durch 2·87 dividiren muss, um auf diese Weise den durch die verschiedene Stellung der Kohlenspitzen in den Lampen, in der Lichtstärke erhaltenen Unterschied auszugleichen.

Um .das Verhältniss zwischen verbrauchter Betriebskraft und geleisteter Arbeit im Flammenbogen festzustellen, machte der bekannte französische Physiker Tresca Versuche in den Werkstätten von Sautter und Lemonnier in Paris, mit Gramme'schen dynamoelektrischen Maschinen, und zwar wurden die Experimente am 16. October 1875 mit einer Maschine gemacht, welche im Stande war, ein Licht von einer Lichtstärke von 1850 Carcel'schen Brennern zu erzeugen, und am 4. September desselben Jahres prüfte Tresca die Leistungsfähigkeit einer kleinen Gramme'schen Maschine, welche nur ein Licht von einer Lichtstärke von 300 Carcel'schen Brennern zu speisen im Stande war.

Tabelle III.

| Name der Maschine | Gewicht in Pfund | Kupferbekleidung der Armatur Dicke in Zoll | Kupferbekleidung der Armatur Gewicht in Pfund | Kupferbekleidung der Magnete Dicke in Zoll | Kupferbekleidung der Magnete Gewicht in Pfund | Tourenzahl per Minute | Fusspfund per Kerze | Pferdekräfte | Lichtstärke in Kerzen Total | Lichtstärke in Kerzen per Pferdekraft | Fusspfund per Kerze Grösse der Kohlenspitzen | Länge des per Stunde verbrauchten Kohlenstabes + | Länge des per Stunde verbrauchten Kohlenstabes − |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Grosse Brush-Maschine . . . | 475 | 0·81 | 32 | 134 | 100 | 1340 | 107,606 | 3·26 | 1230 | 377 | 87·4 | $^3/_8 \times ^3/_8$ | 1·78 | 0·34 |
| Kleine Brush-Maschine . . . | 390 | 0·63 | 24 | 96 | 80 | 1400 | 124,248 | 3·76 | 900 | 239 | 137 | $^3/_8 \times ^3/_8$ | 1·91 | 0·58 |
| Grosse Wallace-Maschine . . | 600 | 0·42 | 50 | 114 | 125 | 800 | | | 823 | | | | | |
| Kleine Wallace-Maschine . . | 350 | 0·43 | $18^3/_4$ | 98 | 41 | 1000 | 128,544 | 3·89 | 440 | 113 | 272 | $^1/_4 \times ^1/_4$ | 2·45 | 0·073 |
| Gramme . . . | 366 | 0·59 | $9^1/_2$ | 108 | $57^1/_2$ | 800 | 609,92 | 1·84 | 705 | 338 | 85 | $^1/_4 \times ^1/_4$ | 3·15 | 0·55 |

Die erste Maschine hatte folgende Dimensionen:

Elektromagnet:

| | |
|---|---|
| Durchmesser des Eisenkernes eines Elektromagnets . . . . . . . . . . . | 70 Mm. |
| Länge des Eisenkernes eines Elektromagnets . . . . . . . . . . . . . . | 404 » |
| Durchmesser eines jeden Elektromagnets mit der Drahtspule . . . . . . . . | 132 » |
| Durchmesser des Drahtes . . . . . . | 3·3 » |
| Gewicht des Drahtes auf jedem Elektromagnete . . . . . . . . . . . | 24 Kg. |

Ring:

| | |
|---|---|
| Aeusserer Durchmesser des Kernes von weichem Eisen . . . . . . . . . | 195 Mm. |
| Innerer Durchmesser des Kernes von weichem Eisen . . . . . . . . . | 157 » |
| Breite des Kernes von weichem Eisen . | 119 » |
| Aeusserer Durchmesser des Ringes . . | 230 » |
| Innerer » » » . . . | 120 » |
| Durchmesser des aufgewickelten Drahtes | 2·6 » |
| Gewicht » » » | 14·50 Kg. |

Leitungsdrähte von der Maschine zur Lampe:

| | |
|---|---|
| Durchmesser . . . . . . . . . . | 78 Mm. |
| Querschnitt . . . . . . . . . . . . . | 47 Qu.-Mm. |

Maschine:

| | |
|---|---|
| Ganze Länge mit Riemenscheibe . . . | 800 Mm. |
| » Höhe . . . . . . . . . . . . . | 585 » |
| » Breite . . . . . . . . . . . . | 550 » |

Die kleinere Maschine war einfacher gebaut und hatte folgende Dimensionen:

Elektromagnet:

Durchmesser des Eisenkernes eines Elektromagnets . . . . . . . . 70 Mm.
Länge des Eisenkernes eines Elektromagnets . . . . . . . . . . . . . 355 »
Durchmesser des Elektromagnets mit Drahtspule . . . . . . . . . . . 120 »
Durchmesser des Drahtes . . . . . 3·8 »
Gewicht des Drahtes auf jedem Elektromagnete . . . . . . . . . 14 Kg.

Ring:

Aeusserer Durchmesser des Kernes von weichem Eisen . . . . . . . 168 Mm.
Innerer Durchmesser des Kernes von weichem Eisen . . . . . . . . . 123 »
Breite des Kernes von weichem Eisen . 101 »
Aeusserer Durchmesser des Ringes . . 203 »
Innerer » » » . . 119 »
Durchmesser des Drahtes . . . . . . 2 »
Gewicht des aufgewickelten Drahtes . . 4·650 Kg.

Leitungsdrähte von der Maschine zur Lampe:

Durchmesser . . . . . . . . . . . . . 2·6 Mm.
Querschnitt . . . . . . . . . . . . . 5·5 Qu.-Mm.

Maschine:

Ganze Länge mit Riemenscheibe . . . 650 Mm.
» Höhe . . . . . . . . . . . . . 506 »
» Breite . . . . . . . . . . . 410 »

Die grosse Maschine speiste einen von Gramme selbst construirten Regulator, die kleine eine Serrin'sche Lampe: beide Lampen hatten gleiche Kohlenstäbchen von 8·1 Qu.-Mm. im Querschnitt.

Die Versuche wurden in der Weise gemacht, dass man die Carcel'schen Brenner ganz nahe dem Photometer aufstellte und die elektrischen Lampen nach und nach so weit von dem Photometer entfernte, dass ihre Beleuchtungsstärke im Photometer dieselbe war, als die des Brenners. Sobald der Beobachter am Photometer angab, dass dieser Moment eingetreten sei, mass man die Entfernung der Lampe vom Photometer, während gleichzeitig am Dynamometer des die Maschine treibenden Motors ein Diagramm aufgenommen wurde, um die Tourenzahl zu ermitteln, und nach den erhaltenen Daten wurde die folgende Tabelle aufgestellt.

1. Grosse Maschine (16. October 1875).

Verhältniss der Entfernungen der elektrischen Lampe und des Carcel'schen Brenners vom Photometer: 40 : 0·93.

Verhältniss der Lichtintensitäten der elektrischen Lampe und des Carcel'schen Brenners: $40^2 : 0{\cdot}93^2 = 1850$

| Aufnahme Nr. | Touren des Dynamometers per Minute | Mittlere Ordinaten des Diagrammes in Mm. | Arbeit in Kilogrammeter per Secunde |
|---|---|---|---|
| 1 | 238 | 22·50 | 678·28 |
| 2 | 251 | 18·89 | 600·56 |
| 3 | 248 | 21·74 | 682·82 |
| 4 | 244 | 16·60 | 513·00 |
| 5 | 241 | 15·59 | 475·86 |
| 6 | 244 | 16·65 | 516·23 |
| | Mittel 244 | | 576·12 od. 7·68 Pfdkrft. |

Arbeit per 100 Carcel-Brenner $= \frac{7{\cdot}68 \times 100}{1850}$ $= 0{\cdot}415$ Pferdekraft.

Arbeit per Carcel-Brenner und Secunde 0·31 Kgm.

2. Kleine Maschine (4. December 1875).

Verhältniss der Entfernungen vom Photometer: 20 : 1·15.

Verhältniss der Lichtintensitäten: $20^2 : 1{\cdot}15^2 = 302{\cdot}4$.

| Aufnahme-Nr. | Touren des Dynamometers per Minute | Mittlere Ordinaten des Diagrammes in Mm. | Arbeit in Kilogrammeter per Secunde |
|---|---|---|---|
| 1 | 234 | 7·11 | 201·73 |
| 2 | 238 | 6·66 | 200·79 |
| 3 | 244 | 7·42 | 225·42 |
| | Mittel 239 | | 210·65 od. 2·31 Pfdkrft. |

Arbeit per 100 Carcel-Brenner $= \frac{2{\cdot}81 \times 100}{302{\cdot}4}$ $= 0{\cdot}92$ Pferdekraft.

Arbeit per Carcel-Brenner und Secunde = 0·69 Kgm.

Die Maschinen arbeiteten regelmässig und wurden nur so lange im Gange erhalten, als eine Erwärmung derselben nicht wahrnehmbar war.

Wenn man die mit der grossen und kleinen Maschine erhaltenen Resultate mit einander vergleicht, so sieht man, dass man bei Anwendung der kleinen Maschine zur Erzeugung einer Lichtstärke gleich der eines Carcel-Brenners mehr als doppelt so viel Betriebskraft verbrauchte, als bei Anwendung der grossen Maschine, und stimmt dieses Resultat mit der von uns in einem vorhergehenden Capitel gemachten Bemer-

kung überein, dass kleine Maschinen nie so vortheilhaft sind wie grosse Maschinen, und es steht zu erwarten, dass spätere Constructeure ihren Maschinen im Allgemeinen weit grössere Dimensionen geben werden, als man heutzutage bei elektrischen Maschinen zu sehen gewöhnt ist.

Eine weitere Bestätigung findet die Richtigkeit dieser Bemerkung durch die zu demselben Zwecke wie von Tresca auch von Professor Hagenbach in dem physikochemischen Institute der Universität Basel angestellten Versuche. Der Experimentator bediente sich bei diesen Versuchen einer Gramme'schen Maschine aus der Maschinenbau-Anstalt von Heilmann, Ducommun und Steinlen zu Mühlhausen, einer Serrin'schen Lampe und eines Bunsen'schen Photometers, wobei als Einheit des Lichtes die Paraffinkerze von 21·4 Mm. Durchmesser und 41·3 Mm. Flammenhöhe zu Grunde gelegt wurde.

Die Breite der Maschine und die Länge des Elektromagnets betrug 27 Cm.; auf der Axe befanden sich zwei Ringe, jeder von 48 Spulen; der ganze, ausserhalb der Maschine circulirende Strom wurde nach dem dynamoelektrischen Principe auch um den Elektromagnet geleitet.

Der Widerstand des Lichtbogens der eingeschalteten Lampe wurde dadurch ermittelt, dass man zuerst die Serrin'sche Lampe in den Stromkreis einschaltete, die Zahl der Umläufe der Armatur festsetzte, dann die Lampe entfernte und an ihrer Stelle so viele Widerstände einschaltete, bis die frühere Tourenzahl und Stromstärke wieder erreicht war. Das Resultat

für den Flammenbogen war 4·75 *S E*, welchem ein Gesammtwiderstand während der Erzeugung des elektrischen Lichtes von 6·63 *S E* entspricht.

Die Resultate der Messungen der Licht- und Stromstärken sind aus der folgenden Tabelle ersichtlich.

| Zahl der Umläufe in der Minute | Lichtstärke in Normalkerzen | Intensität des Stromes in Kubik-Cm. Knallgas pr. Minute | Elektromotorische Kraft in Deleuil'schen Elementen |
|---|---|---|---|
| 1700 | 506 | 119 | 40·8 |
| 1800 | 567 | 126 | 43·2 |
| 1900 | 628 | 133 | 45·6 |
| 2000 | 689 | 140 | 48·0 |

Aus dieser Tabelle kann man sehen, dass man bei 1800 Touren eine Lichtstärke von 567 Paraffinkerzen erhielt, welche gleich derjenigen von 80 Carcel-Brennern ist, und vermittelst des Prony'schen Brems-Dynamometers wurde ermittelt, dass für eine Rotations-Geschwindigkeit von 1800 Touren per Minute ein Arbeitsaufwand von 90 Kgm. per Secunde erforderlich war. Folglich waren bei Anwendung der kleinen von Hagenbach untersuchten Maschine, zur Erzeugung einer Lichtstärke von 1 Carcel-Brenner 1·1 Kgm. Arbeitsaufwand erforderlich und man sieht also, wenn man die Resultate der Tresca'schen und Hagenbach'schen Versuche vergleicht,

| | Arbeit per Secunde für ein Licht = 1C.-B. |
|---|---|
| Maschine für ein Licht von 1850 C.-B. | 0·3 Kgm. |
| » » » » » 302 » » | 0·69 » |
| » » » » » 80 » » | 1·1 » |

dass, je kleiner die Maschine war, desto ungünstiger die Resultate sich gestalteten.

Ueber Versuche, welche mit einer Maschine neuer Construction in dem Laboratorium von Gramme angestellt wurden, berichtet Fontaine in seinem Werke über die elektrische Beleuchtung, S. 211 u. f. und entnehmen wir demselben die folgenden Daten und Tabellen. (Vgl. auch Schellen S. 326 ff.)

Die bei den Versuchen angewendete Maschine war eine Gramme'sche Lichtmaschine des in Fig. 29 abgebildeten, normalen Typus und war dieselbe in den Werkstätten von Mignon & Rouart construirt worden.

Die Lampe war ein von Breguet angefertigter Serrin'scher Regulator.

Die Kohlenelektroden dieses Regulators hatten einen Durchmesser von 13 Mm. und waren nach dem Gauduin'schen Verfahren angefertigt.

Der zum Betriebe der Maschine angewendete Motor war ein Otto'scher Gasmotor, welcher eine Arbeitsstärke von 5 Pferdekräften repräsentirte, und welcher mit einem Giroud'schen Gasdruckregulator verbunden war, der dazu diente, Differenzen im Gasdruck, welche den regelmässigen Gang der Maschine stören konnten, zu verhindern.

Die Gramme'sche Maschine war in directer Verbindung mit der Gasmaschine.

Der specifische Widerstand der Kabel war 0·95, wenn Silber gleich 1 — ihr Querschnitt 10 Qu.-Mm.

Die Tourenzahl der Gasmaschine war 160 per Minute und die verbrauchte Arbeitskraft wurde nicht nur in Bezug auf die Anzahl der per Minute stattfindenden Explosionen berechnet, sondern um zuver-

lässige Ziffern zu erhalten, nach jeder Lichtmessung direct gemessen.

Zur Lichtmessung wurde ein Foucault'sches Photometer benützt.

Die folgenden Tabellen enthalten die Resultate der Versuche.

Tabelle I zeigt, dass man, wie die letzte Reihe der Tabelle angibt, ein Licht von einer Leuchtkraft von 285 Carcel-Brennern per 1 Pferdekraft erhielt, ein Resultat, welches weit günstiger ist, als die bisher von anderen Experimentatoren mitgetheilten Ergebnisse.

Tabelle II zeigt den Einfluss des Abstandes der Kohlen bei constanter Länge des Kabels und die Tourenzahl. Für die Praxis sind jedoch nicht alle die gegebenen Abstände verwendbar, da das Licht bei einem Abstande der Kohlenspitzen von 5 Mm. sehr unruhig brennt, und ist der Abstand von 3 Mm. derjenige, dessen Resultate für die Praxis thatsächlichen Werth haben.

Tabelle III zeigt, welchen Einfluss die Länge der Leitungsdrähte auf die verbrauchte Betriebskraft (und auch auf die Lichtstärke) hat.

Tabelle IV lässt erkennen, wie sich die Stromstärke während des Anlassens der dynamoelektrischen Maschine zu der Stromstärke verhält, wenn das Equilibrium hergestellt ist.

## I.
## Einfluss der Tourenzahl der Maschine.

| Tourenzahl per Minute | Länge des Kabels in M. | Abstand d. Kohlenspitzen in Mm. | Lichtstärke in Carcel-Brennern | | Verbrauchte Betriebskraft in Kgm. | | Lichteinheiten per Pferdekraft |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | horizontal gemessen | Mittel | Total | per 100 mittlere Lichteinheiten | |
| 700 | 100 | 3 | 160 | 320 | 185 | 57·81 | 130 |
| 725 | 100 | 3 | 243 | 486 | 165 | 33·95 | 220 |
| 750 | 100 | 3 | 295 | 590 | 192 | 32·54 | 230 |
| 800 | 100 | 4 | 365 | 730 | 230 | 31·65 | 235 |
| 850 | 100 | 5 | 488 | 976 | 282 | 28·89 | 270 |
| 900 | 100 | 6 | 576 | 1152 | 330 | 28·64 | 260 |
| 1000 | 100 | 10 | 646 | 1292 | 338 | 26·16 | 285 |

## II.
## Einfluss des Abstandes der Kohlenspitzen.

| Tourenzahl per Minute | Länge des Kabels in M. | Abstand d. Kohlenspitzen in Mm. | Lichtstärke in Carcel-Brennern | | Verbrauchte Betriebskraft in Kgm. | | Lichteinheiten per Pferdekraft |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | horizontal gemessen | Mittel | Total | per 100 mittlere Lichteinheiten | |
| 750 | 100 | 5 | 351 | 702 | 175 | 25 | 301 |
| 750 | 100 | 4 | 321 | 642 | 186 | 29 | 259 |
| 750 | 100 | 3 | 295 | 590 | 192 | 32·5 | 281 |
| 750 | 100 | 2 | 256 | 512 | 214 | 41·7 | 214 |
| 750 | 100 | 1 | 225 | 450 | 233 | 51·6 | 145 |
| 750 | 100 | 0 | 140 | 280 | 330 | 117·8 | 63 |

## III.
## Einfluss der Länge des Kabels.*)

| Tourenzahl per Minute | Länge des Kabels in M. | Abstand d. Kohlenspitzen in Mm. | Lichtstärke in Carcel-Brennern: horizontal gemessen | Lichtstärke in Carcel-Brennern: Mittel | Verbrauchte Betriebskraft in Kgm.: Total | Verbrauchte Betriebskraft in Kgm.: per 100 mittlere Lichteinheiten | Lichteinheiten per Pferdekraft |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 750 | 100 | 4 | 321 | 642 | 186 | 28·9 | 267 |
| 800 | 150 | 5 | 345 | 670 | 230 | 33·3 | 225 |
| 825 | 200 | 5 | 315 | 630 | 232 | 36·8 | 178 |
| 850 | 300 | 5 | 275 | 550 | 225 | 40·9 | 183 |
| 900 | 400 | 5 | 260 | 520 | 241 | 46·3 | 162 |
| 950 | 500 | 5 | 245 | 490 | 230 | 46·1 | 160 |
| 1000 | 750 | 5 | 236 | 472 | 243 | 51·4 | 145 |
| 1100 | 1000 | 5 | 215 | 430 | 256 | 59·5 | 126 |
| 1350 | 2000 | 5 | 160 | 320 | 230 | 71·8 | 104 |

## IV.
## Einfluss der Dauer des Betriebes.

| Tourenzahl per Minute | Länge des Kabels in M. | Abstand d. Kohlenspitzen in Mm. | Dauer des Betriebes | Lichtstärke in Carcel-Brennern: horizontal gemessen | Lichtstärke in Carcel-Brennern: Mittel | Verbrauchte Betriebskraft i. Kgm.: Total | Verbrauchte Betriebskraft i. Kgm.: per 100 mittlere Lichteinheiten | Lichteinheiten per Pferdekraft |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 750 | 100 | 2 | Anlassen | 199 | 398 | 214 | 53·7 | 139 |
| 750 | 100 | 4 | 15 Min. | 180 | 380 | 183 | 50·8 | 147 |
| 760 | 100 | 4 | 30 » | 175 | 350 | 194 | 55·4 | 135 |
| 750 | 100 | 4 | 1 Stunde | 181 | 362 | 191 | 53 | 142 |
| 750 | 100 | 4 | 2 Stund. | 191 | 382 | 192 | 50·2 | 149 |
| 750 | 100 | 4 | 3 » | 190 | 380 | 190 | 50 | 150 |

*) Der Querschnitt des Kabels war bei allen Versuchen 10 Qu.-Mm

Das Gesammtresultat zeigt nach Fontaine, dass man von der Gramme'schen Maschine (Type normal) bei einer Rotations-Geschwindigkeit von 750 Touren dann die befriedigendsten Resultate mit einer Serrin'schen Lampe erhält, wenn man diejenige der angegebenen Dispositionen wählt, in der die Kohlenspitzen einen Abstand von 3 Mm. und das Kabel eine Länge von 100 Mtr. hat. Die mittlere Lichtstärke (des zerstreuten Lichtes) ist alsdann bei einem Kraftaufwande von 192 Kgm. (2·55 Pferdekraft) gleich der von 590 Carcel-Brennern, und dieses entspricht 25 Kgm. per 100 Carcel-Brenner per Pferdekraft.

Dieses Resultat ist weit günstiger als selbst die besten der früher erwähnten Resultate, und lässt wohl darauf schliessen, dass die Construction der Gramme'schen Maschine in der letzten Zeit sehr verbessert worden sein muss.

---

# VIII.

# Verschiedene andere Anwendungen der elektrischen Maschinen.

Keine Anwendung der elektrischen Maschinen war allerdings bisher von so ausserordentlichem Erfolge gekrönt, wie die Anwendung der magnet- und dynamoelektrischen Maschinen zum Zwecke der elektrischen Beleuchtung; dennoch haben sich die elektrischen Ma-

schinen auch anderweitig glänzend bewährt und in verschiedenen Industrie- und Verkehrszweigen hat durch ihre Einführung anstatt der bisher angewendeten Batterien ein so vollständiger Umschwung stattgefunden, dass man mit Sicherheit voraussagen kann, dass die Maschinen nicht nur mit der Zeit fast alle übrigen Stromerzeuger zu verdrängen berufen sind, sondern, dass man jetzt auch unzählige Verwendungen für den elektrischen Strom finden wird, an die man früher nicht dachte.

Ausserordentlich gute Dienste leisten gegenwärtig z. B. die elektrischen Maschinen für die Galvanoplastik, und man hat in denselben nicht nur Apparate, welche reinlicher und bequemer sind und die elektrische Energie bei Weitem billiger liefern, als die galvanischen Elemente, sondern, was besonders wichtig ist, der Strom bleibt durchaus constant und gleichmässig, und erst durch Anwendung der elektrischen Maschinen wurde es möglich, die feinen und kunstvollen galvanoplastischen Arbeiten auszuführen, wie solche z. B. von der berühmten Firma Christofle & Co. in Paris geliefert werden, oder die Bekleidung von leicht oxydirbaren Metallen durch Ueberzüge von anderen Metallen in dem Massstabe vorzunehmen, in welchem dieselbe in der Gegenwart angewendet wird. Seit der Erfindung der elektrischen Maschinen ist das Vergolden, Versilbern, Vernickeln und Verzinnen so allgemein geworden, dass man nur noch in wenigen Zweigen des Handwerkes die leicht oxydirbaren Metalle ohne einen künstlichen Ueberzug anwendet, und sind diese Ueberzüge nicht nur in artistischer Hinsicht ein bedeutender

Fortschritt, sondern wird durch dieselben auch die Dauerhaftigkeit aller aus ordinären Metallen angefertigten Gegenstände bedeutend erhöht.

Was nun die Construction der für die Galvanoplastik verwendeten Maschinen betrifft, so müssen diese Maschinen im Gegensatze zu den Lichtmaschinen Ströme von verhältnissmässig geringer Intensität, jedoch von grosser Quantität liefern und hat man daher den galvanoplastischen Maschinen, wie es nach den Regeln in Capitel III nothwendig ist, Drahtumwindungen von sehr starkem Durchmesser, d. h. von möglichst geringem Widerstande, zu geben gesucht. Die brauchbarsten Maschinen für Galvanoplastik würden ihrem Principe nach wohl die magnetelektrischen Maschinen mit Elektromagneten sein, die ihren Strom von einer Extramaschine erhalten, da bei diesen Maschinen ein Stromwechsel durch die Polarisation der Elektroden nicht zu befürchten steht; gegenwärtig jedoch verwendet man meistens dynamoelektrische Maschinen, deren Construction entweder entsprechend modificirt ist oder die man mit besonderen Strombrechern verbunden hat, um einen Polwechsel der inducirenden Magnete zu verhindern.

Um dieses zu verstehen, muss man bedenken, dass, wenn die inducirenden Magnete der stromerzeugenden Maschine in demselben Stromkreis mit dem galvanoplastischen Apparate eingeschaltet sind, wie das bei der Anwendung des reinen dynamoelektrischen Principes ja der Fall ist, ein in dem galvanoplastischen Bade durch die Polarisation der Elektroden entstehender Strom von entgegengesetzter Richtung sofort in die

Spiralen der Elektromagnete eintreten wird, wenn die Maschine durch Zufall oder durch Anhalten zum Stillestehen gebracht wird, und dass dieser Strom genügt, alsdann den Eisenkernen eine kleine Quantität remanenten Magnetismus zu verleihen, welcher den früheren Nordpol in einen Südpol und den früheren Südpol in einen Nordpol verwandelt. Setzt man nun die Maschine wieder in Gang, so wird diese Polarität den Ausgangspunkt für den neuen Strom bilden und es wird demnach ein Strom von einer, dem bisherigen Strom entgegengesetzten Richtung in den galvanoplastischen Apparat gelangen, welcher die Niederschläge natürlich wieder auflöst und die vorhergethane Arbeit vernichtet.

Diesem Uebel kann man dadurch abhelfen, dass man bei den stromerzeugenden Maschinen nicht das reine dynamoelektrische Princip zur Anwendung bringt, sondern nur einen Theil des Stromes durch die galvanoplastischen Bäder leitet, während man den anderen Theil zur Magnetisirung der inducirenden Magnete benützt, oder man kann das Eintreten eines Gegenstromes durch Anwendung eines sogenannten Strombrechers verhindern, d. h. eines Apparates, welcher in dem Augenblicke, in dem die Maschine stillsteht, oder so langsam läuft, dass der von ihr erzeugte Strom den Gegenstrom nicht zurückhalten kann, die Verbindung der Leitungsdrähte zwischen dem galvanoplastischen Bade und der Maschine unterbricht.

Solche Strombrecher hat man verschiedene construirt.

Der Strombrecher, welcher von Gramme angewendet wird, besteht aus einem drehbaren, mit einem Gegengewichte versehenen Eisenstücke, welches die auf dem Collector schleifenden Bürsten mit den Elektromagneten verbindet. So lange die Armatur der Maschine mit einer gewissen Geschwindigkeit rotirt, ist der Magnetismus der Elektromagnete stark genug, das Eisenstück durch die Anziehungskraft festzuhalten; sowie jedoch die Rotation langsamer, und also der Strom schwächer wird, wird der Magnetismus der Elektromagnete vermindert, das Eisenstück fällt ab, und der Stromkreis zwischen dem mit den Bürsten verbundenen galvanoplastischen Apparate und den Elektromagneten ist unterbrochen; ein Polarisationsstrom kann also in die Magnetisirungs-Spiralen der Maschine nicht gelangen.

Der Stromschliesser von Weston ist etwas complicirter. Derselbe besteht aus einer kleinen eisernen Säule, welche in einem horizontalen Lager eine Welle trägt, auf der eine mit zwei radialen Rinnen versehene Scheibe rotirt. In jeder der Rinnen dieser Scheibe befindet sich ein metallenes Gleitstück, welches im Ruhezustande der Maschine (die Scheibe rotirt gleichzeitig mit der Armatur der Maschine) durch eine Spiralfeder gegen das Centrum zu gedrückt wird, wo es auf einer von der Scheibe isolirten metallenen Nabe ruht, auf der eine metallene Feder aufliegt, welche mit einem Leitungsdrahte in Verbindung steht, während die Gleitstücke mit dem anderen Leitungsdrahte verbunden sind. Wenn die Maschine also stillsteht, sind die Gleitstücke und die Nabe in leitendem Contact und bleiben

es auch, so lange die Rotations-Geschwindigkeit nicht gross und der Strom nur schwach ist; der letztere wird also in diesem Falle durch den, durch den Stromschliesser hergestellten kurzen Stromkreis fliessen. Nimmt jedoch die Rotations - Geschwindigkeit der Armatur und demnach auch der Scheibe des Stromschliessers zu, so werden die beiden Gleitstücke durch die Centrifugalkraft nach der Peripherie zu getrieben und von der Metallnabe losgerissen. Der Strom muss also nun durch den galvanoplastischen Apparat und die Spiralen der Elektromagnete, d. h. durch den grösseren Stromkreis circuliren. Man sieht aus dem Gesagten also, dass, während Gramme das Eintreten von Polarisationsströmen in die Elektromagnet-Spiralen der Maschine — wenn die Rotation schwächer wird — durch ein Unterbrechen des Stromes verhindert, Weston dasselbe Resultat erreicht, indem er für den Strom einen Extraschluss herstellt, welcher seines geringen Widerstandes wegen von dem Strome gewählt wird, sobald als die metallischen Contacte es ihm ermöglichen.

Der Strombrecher von Möhring ist nur eine Modification des Weston'schen Stromschliessers.

Bei der Möhring'schen Maschine ist die Scheibe des Stromschliessers, welche mit drei Gleitstücken versehen ist, mit dem Collector verbunden und legen diese Gleitstücke sich erst bei einer gewissen Rotations-Geschwindigkeit der Maschine an den Rand der Scheibe, wodurch die metallische Verbindung zwischen den Collectortheilen hergestellt wird, während bei langsamer Rotation der Maschine die Gleitstücke

nicht in Verbindung mit dem Rande stehen und die Leitung auf diese Weise unterbrochen ist.

Ausser den beschriebenen Strombrechern und Stromschliessern giebt es noch verschiedene andere, die gute Dienste geleistet haben, doch halten wir die Beschreibung derselben für überflüssig, da das Princip aus dem Gesagten erkennbar ist und sich die Construction natürlich auf alle mögliche Weise variiren lässt.

Verwendet man zu den galvanoplastischen Arbeiten magnetelektrische Maschinen, also solche Maschinen, deren inducirende Magnete sich nicht in demselben Stromkreise, wie der galvanoplastische Apparat befinden, so werden alle Vorsichts-Apparate zur Verhinderung des Eintretens von Polarisations-Strömen in die Maschine unnöthig.

Was die Leistungsfähigkeit der bekanntesten, heutzutage in der Praxis verwendeten Maschinen für Galvanoplastik anbetrifft, so wollen wir den bereits in Capitel III gegebenen Daten noch folgende hinzufügen, die wir dem Werke von Schellen*) entnehmen.

Siemens und Halske construiren Maschinen, welche M. 700 kosten und 700 Gr. Silber per Stunde niederschlagen. Gramme's Maschinen zum Preise von M. 1200 liefern 400 Gr. per Stunde. Eine dynamoelektrische Grossmaschine von Gramme zum Preise von M. 2400 liefert 1000 Gr. und die grösste Grammesche Maschine für Galvanoplastik, welche M. 11.000 kostet, ist im Stande, per Stunde 15 Kg. Silber niederzuschlagen.

---

*) Schellen, Die magnet- und dynamoelektrische Maschine, S. 585.

Diese Daten lassen jedoch nicht auf den comparativen Werth der Maschinen schliessen, da die Angaben über die Betriebskraft fehlen.

Schuckert baut Maschinen zu galvanoplastischen Zwecken zum Preise von M. 400 bis M. 1800. Die kleinsten bedürfen zu ihrem Betriebe $^1/_4$ Pferdekraft, die grössten 2 Pferdekräfte.

Die Anwendung von dynamoelektrischen Maschinen zur Reinmetall-Gewinnung in grossem Massstabe wurde bereits in Capitel III, gelegentlich der Beschreibung der Siemens'schen Maschinen, erwähnt und ebenso wurde auf die Anwendung elektrischer Maschinen zur Darstellung von Ozon aufmerksam gemacht, und aus allen bisher erhaltenen Resultaten lässt sich schliessen, dass die Umwandlung des elektrischen Stromes in chemische Arbeit mit der Zeit, durch die Anwendung von elektrischen Maschinen, in der Industrie eine grosse Bedeutung gewinnen wird.

Eine andere Anwendung des elektrischen Stromes, welche der Erwähnung werth ist und welche praktisch erst seit der Erfindung guter elektrischer Maschinen möglich wurde, ist:

Das Schmelzen von schwer schmelzbaren Metallen vermittelst Elektricität.

Die ausserordentlich hohe Temperatur, welche z. B. zum Schmelzen von Platin und Iridium nöthig ist, machte die Verarbeitung dieser Metalle früher sehr schwierig und kostspielig, während gegenwärtig bei der grossen Hitze, welche starke elektrische Ströme zu erzeugen im Stande sind, diese Verarbeitung sowohl, wie auch chemische Reactionen und Zersetzungen,

zu denen eine besonders hohe Temperatur erforderlich ist, verhältnissmässig leicht ausführbar sind.

Das Verdienst, einen passenden Apparat zum Schmelzen schwer schmelzbarer Metalle vermittelst des elektrischen Stromes construirt zu haben, gebührt Herrn Dr. William Siemens in London. Der Siemens-sche Schmelzapparat besteht aus einem Schmelztiegel aus Graphit oder irgend einem andern schwer schmelzbaren Material, welcher in ein, auf einem Dreifusse stehendes metallisches Gefäss eingesetzt ist. Der Tiegel berührt jedoch nicht die Innenseiten des metallischen Gefässes, sondern ist durch eine Lage von gestossener Holzkohle, oder einen anderen schlechten Wärmeleiter, von demselben getrennt. Durch den Boden des Schmelztiegels ragt die positive Elektrode, ein Stab von Gaskohle, in das Innere, während die andere Elektrode, welche durch einen Stab von gepresster Kohle repräsentirt wird, durch den Deckel des Tiegels dringt. Beide Elektroden werden durch einen einfach construirten automatischen Regulator in zweckmässigem Abstande von einander gehalten, so dass der Flammenbogen gleichmässig bleibt. Bei Anwendung einer dynamoelektrischen Maschine, welche bei einer Betriebskraft von 4 Pferdekräften einen Strom von 36 Ampère's erzeugte, fand Siemens, dass ein Schmelztiegel von 20 Cm. Tiefe in weniger als einer Viertelstunde zum Weissglühen gebracht wurde, und dass in der nächsten Viertelstunde ein Kilogramm Stahl zum Schmelzen gebracht werden konnte. Die nachfolgenden Schmelzungen gingen noch schneller von Statten.

Auch zum Telegraphiren verwendet man

gegenwärtig die elektrischen Maschinen mit grossem Erfolge und wurden die ersten diesbezüglichen Versuche im Herbste 1879 von L. Schwendler in Indien gemacht, welcher einen Theil des starken Stromes einer in den Telegraphen-Werkstätten des Alipore-Gouvernements befindlichen dynamoelektrischen Maschine, die zur Beleuchtung der Werkstätten diente, durch die 850 englische Meilen lange Telegraphenverbindung zwischen Agra und Calcutta leitete und vermittelst desselben im Stande war, eine Anzahl Depeschen zu übermitteln, ohne dass dadurch eine Aenderung in der Stärke des elektrischen Lichtes bemerkt wurde, da der abgeleitete Stromtheil nur etwa 0·004 des Gesammtstromes betrug.

Durch dieses günstige Resultat ermuthigt, speiste Schwendler alle Linien der Calcutta-Telegraph-Office mit von einer dynamoelektrischen Maschine abgeleiteten Zweigströmen und das Resultat war ein vollständig zufriedenstellendes. Auch an anderen Orten bewährten sich die elektrischen Maschinen zum Telegraphiren.

L. Kohlfürst in Prag verwendete zum Telegraphiren einen kleinen Siemens'schen Magnet-Inductor und setzte mit demselben drei Morse-Druckapparate in Bewegung, und äusserst günstige Erfolge wurden mit elektrischen Maschinen in der Centralstation der Western-Union-Telegraph-Company in New-York erzielt. Man wandte dortselbst nicht, wie bei den Schwendler'schen Versuchen, eine einzelne Maschine an, von der man verschiedene Ströme abzweigte, sondern man koppelte eine Anzahl Siemens'scher Inductoren, deren Elektromagnete ihren Strom von einer dynamo-

elektrischen Maschine erhielten, und erzeugte vermittelst dieser Inductoren die zum Telegraphiren nöthigen Ströme.

Der Erfolg war ein so guter, dass die Western-Union-Telegraph-Company anstatt der Batterien, welche einen grossen Raum einnahmen und in Folge der angewendeten Säuren und Chemikalien äusserst unreinlich sind, gegenwärtig definitiv elektrische Maschinen zum Telegraphiren verwendet und mit dem Strome derselben die 360 aus der Hauptstation auslaufenden Drähte und die Kabel der »Gold- and Stock-Telegraph-Company« speist.

Die Maschinen nehmen nur etwa ein Zehntel des Raumes ein, welchen die Batterien früher occupirten, und ein einziger Ingenieur genügt zur Beaufsichtigung sämmtlicher Motoren. Die Betriebskosten werden sich, wie die Compagnie vermuthet, durch die Einführung der elektrischen Maschinen um 50 Percent geringer gestalten.

Die Anwendung der kleineren elektrischen Maschinen für Hand- und Fussbetrieb in physikalischen Laboratorien oder für medicinische Zwecke wurde bereits in Capitel III erwähnt und möchten wir in Bezug auf diese Maschinen nur noch hinzufügen, dass dieselben, sobald sich die Herstellungskosten geringer gestalten werden, dazu berufen sein dürften, in einer grossen Anzahl von Anwendungen des elektrischen Stromes die galvanischen Batterien definitiv zu ersetzen.

Die interessanteste aller Anwendungen der elektrischen Maschinen und diejenige, welcher die grösste Zukunft bevorsteht, ist

Die Anwendung der elektrischen Maschinen zur Kraftübertragung.

Auch was diese Anwendung anbetrifft, können wir uns hier nicht auf Einzelnheiten einlassen, und beschränken wir uns hier nur auf das Allgemeine.

Das Princip der elektrischen Kraftübertragung besteht darin, dass man durch die Uebertragung der Bewegung einer Dampfmaschine oder irgend eines anderen Motors in einer elektrischen Maschine einen Strom erzeugt und diesen Strom dann durch Leitungsdrähte in eine zweite elektrische Maschine leitet, wo er wiederum in eine andere Kraftform verwandelt wird. Man kann also auf diese Weise die Bewegung, d. h. die Arbeitskraft einer Dampfmaschine durch Kupferdrähte in beliebige Ferne übertragen. Bis jetzt ist es allerdings noch nicht gelungen, diese Uebertragung in einer ökonomischen Weise zu erzielen, sondern bei der gegenwärtigen Construction der elektrischen Maschinen erhält man nur etwa 50 Percent der an der einen Station aufgewendeten Betriebskraft an der anderen Station wieder und wenn man die Betriebskraft auf theurem Wege beschaffen muss, so lohnt sich die elektrische Kraftübertragung nur in seltenen Fällen. Nichtsdestoweniger spricht dieser Umstand nicht gegen eine zukünftige Verwerthung der Kraftübertragung im grossen Massstabe, sondern es handelt sich nur darum, erstens bessere elektrische Maschinen zu construiren, als man bisher construirt hat, d. h. Maschinen, in denen nicht so viel Arbeitskraft durch Umsetzung in Wärme verloren geht, als dieses in allen den gegenwärtig in der Praxis verwendeten Maschinen der Fall ist — und man wird mit der

Zeit durch zweckmässige Anordnung der einzelnen Theile und Vergrösserung der Dimensionen der elektrischen Maschinen jedenfalls dahin gelangen, Maschinen zu construiren, von denen wenigstens 75 Percent der Betriebskraft in Elektricität wiedergewonnen wird — und zweitens muss man eben danach trachten, die Arbeitskraft von solchen Centralstellen, wo dieselbe billig zu haben ist, nach entfernten Orten zu übertragen. Solche Stellen sind z. B. Gegenden, in denen man die Kraft grosser Wasserfälle, die Wirkung von Ebbe und Fluth u. s. w. benützen kann. Man denkt daher daran, die ungeheure Arbeitskraft der Niagarafälle mit der Zeit durch Kabel nach verschiedenen Städten im Staate New-York und nach New-York-City zu leiten, und obgleich man bis jetzt noch nicht im Stande ist, dieses Problem praktisch auszuführen, so darf man dennoch mit Sicherheit annehmen, dass mit der Zeit sich eine Lösung desselben auf elektrischem Wege finden lassen wird, da die eigentliche Hauptschwierigkeit nur in der Entdeckung einer Methode besteht, durch welche man die Leitungsdrähte genügend isoliren kann.

Anfangs glaubte man, dass zur Uebertragung einer so ungeheuren Arbeitskraft, wie die der Niagarafälle, ein Kabel von unverhältnissmässiger Dicke nothwendig sein werde. Professor Perry in London hat jedoch in einer am 24. März 1881 in der »Society of Arts« gehaltenen Vorlesung auseinandergesetzt, dass man bei geeigneter Combination der angewendeten Maschinen und genügender Isolation die ganze Kraft der Niagarafälle in einem Telegraphendrahte nach New-York übertragen kann.

Von den Anwendungen, die die elektrische Kraftübertragung bisher gefunden hat, sind zu erwähnen der Betrieb von landwirthschaftlichen Maschinen durch feststehende, weit davon entfernte Motoren, wie solche die Versuche von Chrétien & Felix zu Sermaize veranschaulichten, die elektrischen Eisenbahnen der Firma Siemens-Halske, elektrische Tramways, elektrische Aufzüge u. s. w., doch die Zeit wird nicht ferne sein, in der man von grossen Centralstationen Arbeitskraft in Form von elektrischem Strom durch Leitungsdrähte in alle Häuser einer Stadt zu leiten im Stande ist, wo die Bewohner dieselbe alsdann nach Belieben in Licht, in Wärme oder in Bewegung umsetzen und zu jedem beliebigen Zwecke verwerthen können, und es ist keine Frage, dass die magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen dazu berufen sind, an vielen Orten mit der Zeit die Stelle der Dampfmotoren einzunehmen.

---

# Anhang.

## IX.

## Formeln zur Construction von Elektromagneten.

Obgleich wir bei Abfassung dieses Bandes eine allgemeine Kenntniss der Theorie des Magnetismus bei dem Leser vorausgesetzt haben, und obgleich ein näheres Eingehen auf theoretische Fragen ausserhalb des Bereiches unserer Aufgabe liegt, so dürfte es dennoch wünschenswerth sein, in einem Handbuch über elektrische Maschinen diejenigen Formeln zu finden, welche sich auf die Construction des wichtigsten Theiles dieser Maschinen, d. h. auf die Elektromagnete beziehen, und geben wir daher hier als Ergänzung zu Capitel VI einige Gleichungen, vermittelst welcher man nach Du Moncel bei der Construction von Elektromagneten die besten Bedingungen für die Maximalstärke des magnetischen Momentes und der Anziehungskraft leicht finden kann.

Nennen wir:

$a$ die Dicke der magnetisirenden Spiralen,

$b$ die totale Länge der beiden Spulen oder der beiden Magnetschenkel,

$c$ den inneren Durchmesser der Spulen, also auch gleichzeitig den Durchmesser des Magnetkernes,

$g$ den Durchmesser des Drahtes, nebst dem isolirenden Material,

$A$ die Anziehungskraft des Hufeisenmagnets,

$E$ die elektromotorische Kraft des Stromes,

$M$ das magnetische Moment,

$H$ die Länge des Drahtes der Magnetisirungs-Spirale,

$I$ die Stromstärke im ganzen Stromkreise,

$t$ die Anzahl der Drahtwindungen auf den Schenkeln,

$R$ den Widerstand des äusseren Stromkreises.

In diesem Falle kann man die Anzahl der Drahtwindungen in jeder Lage mit $\frac{b}{g}$ und die Anzahl der Lagen in einer jeden Spule mit $\frac{a}{g}$ bezeichnen.

Die Anzahl der Drahtwindungen auf den Schenkeln wird also aus der Gleichung

$$t = \frac{b}{g} \times \frac{a}{g} = \frac{a\,b}{g^2} \qquad (1)$$

ersichtlich sein. Die Länge einer Windung der direct auf dem Kern aufliegenden Lage ist ferner gleich

$$2\pi\,\frac{c+g}{2}$$

und die Länge einer Windung der obersten Lage gleich

$$2\pi\,\frac{c+2a-g}{2}$$

und folglich die ganze Länge des Drahtes in diesen beiden Lagen

$$\frac{b}{g} \, 2\pi \, \frac{c+g}{2} \text{ respective } \frac{b}{g} \cdot 2\pi \, \frac{c+2a-g}{2}$$

Da nun die zwischen diesen beiden Lagen befindlichen Lagen die Glieder einer arithmetischen Progression bilden, deren Endglieder durch die obigen beiden Ausdrücke gegeben sind, und die Anzahl der Glieder gleich $\frac{a}{g}$ ist, so findet man die Gesammtlänge des Drahtes der magnetisirenden Spirale aus der Gleichung:

$$H = \frac{b}{g} \, \frac{2\pi\,(c+g+c+2a-g)}{4} \, \frac{a}{g} = \frac{\pi b a (a+c)}{g^2} \quad (2)$$

Die Werthe für $t$ und $H$ sind also Functionen der von $a$, $b$, $c$ und $g$, und man kann die Länge und die Anzahl der auf einem Magnetkerne aufgewickelten Drahtwindungen sofort berechnen, wenn man die Dicke des isolirten Drahtes und die Dicke und Länge der Spule gemessen und die Anzahl von Windungen der Spule gezählt hat, wenn man die Länge der Spule durch die Anzahl der Windungen dividirt und die Differenz zwischen dem äusseren und inneren Durchmesser der Spule feststellt. Ebenso lassen sich aus der Gleichung gewünschten Falles die Werthe für $a$ und $g$ finden, oder andere Ausdrücke für $A$ und $H$ aufstellen.

Die elektromagnetische Kraft des Magnets findet man durch Berücksichtigung der Gesetze von Jakobi, Dub und Müller, welche festgestellt haben, dass die wirkliche Kraft eines Magnets, oder wie der physikalische Ausdruck lautet, sein magnetisches Moment $M$ gleich ist der Stromstärke des durch die magneti-

sirende Spirale fliessenden Stromes, dividirt durch die Anzahl der Spiralen, und dass seine Anziehungskraft $A$ gleich ist dem Quadrate des magnetischen Momentes.

Hiernach erhält man die Formeln:

$$M = \frac{E\,t}{R + H} \text{ und } A = \frac{E^2\,t^2}{(R + H)^2}$$

Wenn man nun in diese Formeln die oben gefundenen Werthe für $t$ und $H$ einsetzt, so erhält man die Gleichungen:

$$M = \frac{E\,a\,b}{R\,g^2 + \pi\,b\,a\,(a + c)} \text{ und}$$

$$A = \frac{E^2\,a^2\,b^2}{[R\,g^2 + \pi\,b\,a\,(a + c)]^2}$$

Diese Gleichungen zeigen, dass man auf verschiedenem Wege Maximalstärken für $M$ und $A$ erhalten kann, je nachdem man den Werth für $a$, $b$, $c$ oder $g$ verändert. Die Hauptbedingungen, von denen diese Maxima abhängen, sind: 1. Der Widerstand der Spirale, 2. das Verhältniss ihres Durchmessers zum Durchmesser des Kernes, 3. die Dimensionen des Magnets selbst.

In der Praxis wird es stets erwünscht sein, einen Ausdruck für $R$ zu finden, welcher eine Function des Widerstandes der magnetisirenden Spirale ist. Dieses erreicht man auf folgende Weise.

Man dividirt zuerst $g$, welches den Durchmesser des Drahtes sammt Isolation bezeichnet, durch einen Coefficienten $f$, um den Durchmesser des nackten Drahtes zu erhalten, welcher allein bei der Berechnung des Widerstandes in Betracht kommt. (Diesen Coefficient kann man in der Praxis für sehr feine Drähte = 1·6

und $\doteq$ 1·4 für mittlere Drähte annehmen.) Der Durchmesser des nackten Drahtes ist also $\frac{g}{f}$ und wenn man mit $q$ das Verhältniss ausdrückt, in welchem die Leistungsfähigkeit des Leiters $R$ zu der des Leiters $H$ steht (einschliesslich der Constanten, die sich auf den Querschnitt bezieht, und welche gleich 0·000016 M. ist), so erhält man $\frac{q R g^2}{f^2}$ als den reducirten Werth für $R$.

Da bei einer Zunahme der Dicke des Drahtes $\frac{g}{f}$ nicht nur der Widerstand einer Spule von einem constanten Durchmesser, sondern auch die Länge ihres Drahtes vermindert wird — zwei Werthe, welche sich im gleichen Verhältnisse ändern — so wird der Widerstand $H$ der Spule, anstatt in umgekehrter Proportion zu $g^2$ zu stehen, sich umgekehrt proportional zu $g^4$ verhalten, die Quantität $\frac{q R g^2}{f^2}$ wird jedoch umgekehrt proportional zu $g^2$ bleiben, so dass wir nunmehr für die Werthe der Nenner von $M$ und $A$ die folgenden Ausdrücke erhalten:

$$\frac{q R g^4 + \pi b a (a + c) f^2}{f^2 g^4} \;; \quad \left[\frac{q R g^4 + \pi b a (a + c) f^2}{f^2 g^4}\right]^2$$

Die Werthe für $M$ und $A$ selbst gestalten sich also wie folgt:

$$\left.\begin{aligned} M &= \frac{f^2 g^2 E a b}{q R g^4 + f^2 \pi b a (a + c)} \\ A &= \frac{f^4 g^4 E^2 A^2 b^2}{[q R g^4 + f^2 \pi b a (a + c)]^2} \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

Nachdem so die Werthe für $M$ und $A$ festgestellt sind, fragt es sich, von welchen Bedingungen es abhängt, um für $A$ und $M$ Maximalwerthe zu erhalten, und zwar wollen wir zuerst betrachten:

I. Die Abhängigkeit der Maximalwerthe für $A$ und $M$ von dem Widerstande der magnetisirenden Spirale.

Diese Abhängigkeit wird man z. B. zu ermitteln haben, wenn man einen Elektromagnet von bestimmten Dimensionen anwenden will und danach trachtet, die Drahtdicke so zu wählen, dass man bei gegebenem Widerstande des ganzen äusseren Stromkreises ein Maximum für die Werthe $A$ und $M$ erhält, oder wenn man bei gegebenem äusseren Widerstande eine bestimmte Sorte Draht für die magnetisirende Spirale anwenden und sodann die Dimensionen der Spule berechnen will, bei welcher $M$ und $A$ ihren Maximalwerth erhalten. In dem ersten Falle ist die Variable der Durchmesser $g$ des Drahtes, in dem zweiten Falle ist es die Dicke der Spule.

Wenn man nun berücksichtigt, dass in den Formeln 3 der Durchmesser des Drahtes nicht $g$, sondern $\frac{g}{f}$ ist, in welchem Ausdrucke $f$ eine Constante bezeichnet, so sieht man, dass die Berechnung nicht so einfach ist, wie es auf den ersten Anblick erscheint, und die Physiker, welche sich zuerst mit dieser Frage beschäftigten, hatten bei Aufstellung ihrer Hypothese angenommen, dass man $f$ bei der Berechnung ganz vernachlässigen könne und dass $g$ für den Durchmesser des Drahtes sammt Isolirung gesetzt werden kann.

Selbst wenn man, wie in den Formeln 3, den Werth für $f$ berücksichtigte, glaubte man denselben nicht durch eine Constante ausdrücken zu können, sobald der Werth für $g$ variirte, und man erhielt in Folge dessen von den obigen verschiedene Endresultate.

Wenn man die Frage von der einfachsten Seite betrachtet, so wird man einsehen, dass man die Maximalwerthe für $M$ und $A$ erhält, wenn

$$\frac{qRg^2}{f^2} = \frac{\pi b a (a+c)}{g^2}$$

das heisst, wenn $R = H$ ist oder mit anderen Worten die vortheilhafteste Dicke des Drahtes wird diejenige sein, welche den Widerstand der magnetisirenden Spiralen dem äusseren Widerstande gleich macht.

Bringt man die Dicke der isolirenden Umhüllung mit in Anschlag, so wird diejenige Spule die besten Dienste leisten, deren Widerstand sich verhält zu dem Widerstande im äusseren Stromkreise wie der Durchmesser des nackten Drahtes zum Durchmesser des isolirten Drahtes.

Ein anderer Satz, der sich aus den gegebenen Formeln entwickeln lässt, lautet:

Von verschiedenen magnetisirenden Spiralen, deren Drähte dieselbe Dicke haben, deren Windungsanzahl jedoch verschieden ist, wird diejenige die wirksamste sein, deren Widerstand sich zu dem Widerstande des äusseren Stromkreises verhält, wie die Dicke der Spiralen mit der Dicke des eisernen Kernes zu der einfachen Dicke der Spirale allein.

II. Abhängigkeit der Maximalstärke von $A$ und $M$ von dem Verhältnisse, in welchem die Dicke der magnetisirenden Spirale zu der des Eisenkernes steht.

Da die Kraft eines Elektromagnets mit den Dimensionen des Magnetkernes wächst, da aber auch der Widerstand der umgebenden magnetisirenden Spirale ebenfalls proportional mit diesen Dimensionen zunimmt, so muss man natürlich mit der Zeit ein Maximum der Magnetstärke erreichen, und es ist daher von Wichtigkeit für die Construction von Elektromagneten, das für dieses Maximum geltende Gesetz zu kennen.

Dieses Gesetz wird aus den algebraischen Gleichungen

$$M = \frac{g^2 E \sqrt{c}}{\lambda \pi b a (a + c)} \text{ und } A = \frac{g^4 E^2 c}{[\lambda \pi b a (a + c)]^2} \qquad (4)$$

gefunden, in welchen $\lambda$ ein Coefficient ist, mit dem man die Länge der Spirale multipliciren muss, um nach den bisher ermittelten Gesetzen ein Maximum in dem Stromkreise zu erhalten, und wenn man die Werthe von $A$ und $M$ in Bezug auf $c$ ermittelt und gleichsetzt, so wird man erkennen, dass man die Maximalwerthe für dieselben erhält, wenn $a = c$ ist, d. h. wenn der Durchmesser der magnetisirenden Spirale gleich ist dem Durchmesser des Eisenkernes.

Die Berechnung für das Maximum von $A$ und $M$ lässt sich nunmehr sehr vereinfachen, denn der Ausdruck für die Länge der Magnetisirungsspirale wird unter den für das Maximum gefundenen Bedingungen

$\frac{2\pi\, b\, c^2}{g^2}$ und wenn man die Länge $b$ des Magnets in einer Function des Durchmessers $c$ ausdrückt, indem man den letzteren mit einem Coefficienten $m$ multiplicirt, welcher, wie praktische Experimente zeigen, gleich 12 für die beiden Magnetschenkel ist, so erhält man den Ausdruck

$$\frac{2\pi\, c^3 m}{g^2} \text{ oder } \frac{75{\cdot}4\,.\,c^3}{g^2} \tag{5}$$

in welchem nur die Werthe $c$ und $g$ vorkommen. Für die Anzahl der Windungen $t$ erhält man alsdann

$$t = \frac{12\, c^2}{g^2}$$

Da nun, wie man aus dem Obigen sieht, $A$ und $M$ Maximalwerthe sind, wenn $R = H$, $a = c$, $b = cm$ ist, so muss man, da $g$ unbestimmt ist, zur Berechnung einen Werth für $R$ finden, welcher eine Function von $g$ ist, und diesen erhält man aus dem Werthe für

$$H = \frac{2\pi\, c^3 m}{g^2}$$

welcher ja gleich $R$ ist, indem man

$$\frac{q\, R\, g^2}{f^2} = \frac{2\pi\, c^3 m}{g^2} \text{ schreibt.}$$

Hieraus folgt

$$g^4 = f^2 \frac{c^3}{R} \frac{2\pi\, m}{q} \tag{6}$$

und endlich, da $\frac{2\pi\, m}{q}$ eine Constante ist, welche aus bekannten Zahlen zusammengesetzt ist und die Zahl 0·00020106 ausdrückt, erhält man für $g$ die Gleichung

$$g = \sqrt{f \sqrt{\frac{c^3}{R} \cdot 0{\cdot}00020106}} \qquad (7)$$

III. Abhängigkeit der Maximalstärke von *M* und *A* von der Länge des Eisenkernes.

Es erhellt aus dem Gesagten, dass es für die Berechnung wichtig ist, die Länge des Magnetkernes in einer Function seines Durchmessers auszudrücken, es fragt sich nun aber noch, ob man den Eisenkern beliebig verlängern kann oder ob sich auch ein Maximalwerth für diese Verlängerung feststellen lassen wird.

Da nach dem Gesetze von Müller die Werthe für *A* und *M* der Quadratwurzel aus dem Durchmesser des Magnets proportional sind, so kann man keinen Maximalwerth in diesem Falle finden, so lange $b$ variirt; wenn man jedoch $b$ in einer Function des Durchmessers $c$ ausdrückt, so wird die Anziehungskraft proportional zu $c\, m \sqrt{c}$ oder zu $c^{\frac{3}{2}}$ und wenn man nun alle bisher gefundenen Bedingungen für die Maximalstärke berücksichtigt, so erhält man

$$A = \frac{E^2 m^2 c^4 c^{\frac{3}{2}}}{[R g^2 + 2\pi c^3 m]^2} \qquad (8)$$

in welcher Gleichung $R$ durch eine gewisse Drahtlänge der Spirale repräsentirt wird.

Aus dieser Gleichung ergiebt sich alsdann ferner

$$\frac{2\pi c^3 m}{g^2} = 11\, R$$

Mit anderen Worten: man kann die Dimensionen des Eisenkernes vergrössern, bis der Widerstand der magnetisirenden Spirale elf Mal so gross ist, als der Widerstand des äusseren Stromkreises.

In diesem Falle erhält man

$$m = 11 \frac{Rg^2}{2\pi c^3}$$

und man ersieht daraus, dass $m$ elf Mal so gross ist als das Verhältniss des Widerstandes des äusseren Stromkreises $R$ zu dem der Spirale, für welche in diesem Falle der Ausdruck $\frac{2\pi c^3}{g^2}$ gilt. Da nun zur Erreichung der Maximalstärken für $A$ und $M$ die beiden Widerstände, wie wir gesehen haben, gleich sein sollten, so ist ihr Verhältniss 1 und $m$ folglich $= 11$. Für die Praxis muss man jedoch $m = 12$ annehmen, da die Magnetpole gewöhnlich etwas grössere Durchmesser haben als der Kern, da die Drähte meistens nicht direct auf das Eisen aufgewunden sind, und aus ähnlichen kleinen Ursachen, die eine Abweichung von der Theorie bedingen.

Zum Schlusse möge noch darauf aufmerksam gemacht sein, dass unter sonst gleichen Umständen, wie bereits in Capitel VI erwähnt wurde, die Stärke von $M$ und $A$ auch von der Qualität des angewendeten Eisens abhängt.

---

# X.

# Messinstrumente, welche sich besonders zu Messungen an elektrischen Maschinen eignen.

Wir glauben, dass eine kurze Beschreibung einiger der für die Messungen an magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen brauchbarsten Messinstrumente, geradeso wie die in das vorige Capitel aufgenommenen Formeln, eine Ergänzung unseres Buches bilden wird, welche sich bei dem praktischen Gebrauche desselben willkommen erweisen dürfte, und wählen zu diesem Zwecke das Dynamometer, das Ammeter und das Voltmeter der Professoren Ayrton und Perry.

Durch diese Auswahl soll durchaus nicht gesagt sein, dass die genannten Instrumente die einzig brauchbaren sind — denn u. A. eignen sich das Elektrodynamometer und Torsionsgalvanometer von Siemens, sowie das Ampèremeter und Voltmeter von Marcel Deprez ebenfalls vorzüglich zu Messungen an elektrischen Maschinen — sondern wir haben gerade diejenigen Instrumente gewählt, welche in Deutschland vielleicht noch nicht allgemein bekannt sind und nichtsdestoweniger sich durch grosse Einfachheit und zweckentsprechende Construction auszeichnen.

## Das Dynamometer von Ayrton und Perry.

Das Ayrton- und Perry'sche Dynamometer ist auf folgende Weise construirt:

Ein Kreuzstück *KK* (Fig. 51) ist auf die Welle *W* des die elektrische Maschine treibenden Motors aufgekeilt und die vier Enden dieses Kreuzstückes *RRRR* sind durch starke Spiralfedern mit einer Scheibe *S* verbunden, welche die Kraft überträgt. Wenn die Uebertragung durch Riemen geschieht, repräsentirt *S* eine lose, auf die Axe aufgesteckte Riemenscheibe, während wenn die Axe, auf welche die Kraft zu übertragen ist, in der Verlängerung der Welle *W* liegt, *S* mit dieser Axe fest verbunden ist.

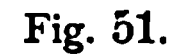
Wird nun *W* in der Richtung des in der Figur gezeichneten Pfeiles gedreht, so überträgt sich die Bewegung durch die Spiralfedern auf *S* und je grösser die übertragene Kraft ist, desto mehr werden die Spiralfedern auseinandergezogen und dadurch die relative Stellung von *K* und *S* verschoben.

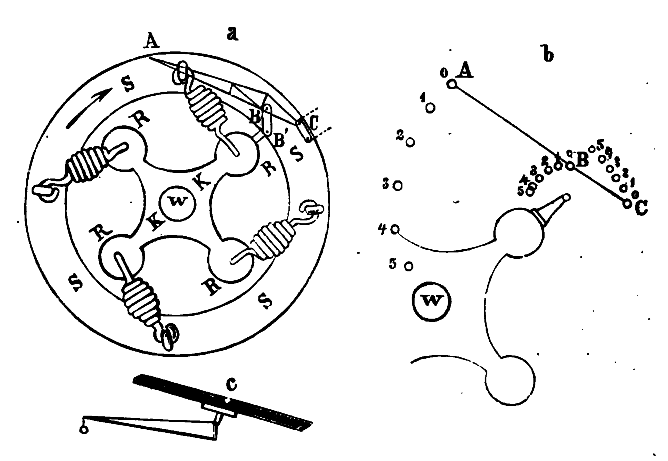
An *S* ist bei *C* ein leichtes Stück *ABC* befestigt, welches, wie aus Fig. 51 *a* ersichtlich ist, gegen eine Verbiegung in der Rotationsebene, und wie Fig. 51 *c* zeigt, gegen eine Verbiegung senkrecht zu dieser Ebene geschützt und durch eine kleine Zugstange *B B'* mit dem Fortsatze eines der Stücke *R* verbunden ist Wenn nun während der Drehung *S* etwas hinter *W* zurückbleibt, so nähert sich *A* der Axe und diese Annäherung wird um so grösser sein, je grösser die übertragene Kraft ist, so dass die Stellungen 0—5, welche in Fig. 51 *b* gegeben sind, verschiedene Grade dieser Grösse andeuten.

Um die Stellung des Stückes *A B C* auch während der Umdrehung der Maschine dem Auge sichtbar zu machen, ist bei *A* ein glänzendes Knöpfchen angebracht,

welches bei schneller Rotation einen leuchtenden Kreis beschreibt, und der Radius dieses Kreises, welcher demnach den einen Factor für das Mass der übertragenen Kraft bildet, kann an einer in der Höhe der Axe aufgestellten Scala abgelesen werden.

Wenn man die Tourenzahl kennt, welche als anderer Factor für die Messung wichtig ist, so lässt


Fig. 51.




sich die Grösse der übertragenen Kraft sehr leicht berechnen.

Ein grosser Vorzug des beschriebenen Instrumentes ist der, dass es einen verhältnissmässig geringen radialen Raum einnimmt und nach Angabe der Erfinder nur wenig mehr als eine Flanschenkuppelung kostet, wie man sie zur Verbindung zweier Wellen gewöhnlich benützt.

## Die Ammeter und Voltmeter von Ayrton und Perry.

1. Das Commutator-Ammeter ist ein aperiodisches Galvanometer, welches seinen Namen von dem Umstande erhalten hat, dass man von der Scala desselben die Stromstärke direct in »Ampères« ablesen kann (Ammeter ist nämlich nur eine Abkürzung von Ampèremeter) und dass es mit einem Pachytrop (im Englischen Commutator genannt) verbunden ist, der es gestattet, die 60 Drahtwindungen des Instrumentes entweder hintereinander oder je 10 parallel nebeneinander zu schalten, so dass im letzteren Falle der Widerstand der Leitung nur $\frac{1}{100}$ von dem Widerstande der Leitung im ersten Falle beträgt.

Die Construction des Apparates, welcher in Figur 52 abgebildet ist, ist die folgende:

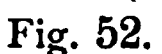
Eine sehr leichte Magnetnadel, welche mit einem ebenfalls sehr leichten Zeiger aus Aluminium verbunden ist, spielt in dem sehr starken Felde eines kräftigen Hufeisenmagnets; die Drahtwindungen sind so construirt, dass die Ablenkungen der Magnetnadel und des damit verbundenen Zeigers der Stromstärke proportional sind.

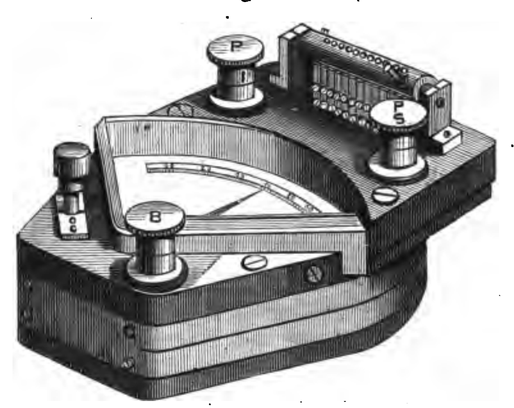
Um das Galvanometer zu aichen oder zu graduiren, dreht man den Pachytrop so, dass die 60 Windungen hintereinander geschaltet sind, und verbindet alsdann ein Element, dessen elektromotorische Kraft $E$ bekannt ist, mit den $S$ und $PS$ bezeichneten Klemmschrauben; die Stellung des Zeigers wird dann abgelesen, diese sei $G$. Hierauf schaltet man durch Herausziehen des

in der Figur links sichtbaren Stöpsels einen mit dem Apparate verbundenen Widerstand von 1 Ohm ein und liest wieder ab; die zweite Ablesung sei $G'$. Der Widerstand des Apparates sammt dem Widerstande des Elementes und der Leitungsdrähte ist alsdann:

$$\frac{G_2}{G_1 - G_2}$$

und die zur ersten Ablenkung gehörige Stromstärke


Fig. 52.



$$\frac{E\,(G_1 - G_2)}{G_2} \text{ Ampères.}$$

Man findet also die zu einer Ablenkung einer beliebigen Anzahl von Graden gehörige Stromstärke in Ampères, durch Multiplication der Ablesungszahl mit

$$\frac{E\,(G_1 - G_2)}{G_1\,G_2}$$

wenn die Windungen des Ammeters auf Spannung, und durch Multiplication mit

$$\frac{10\,E\,(G_1 - G_2)}{G_1\,G_2},$$

wenn die Windungen desselben auf Quantität gekoppelt sind.

Wenn man z. B. zur Graduirung ein Leclanché-sches Element (grosses Modell) benützt hat, dessen elektromotorische Kraft 1·26 Volts beträgt, und die erste Ablesung 6·5° zeigte, während nach Einschaltung des Widerstandes von 1 Ohm der Zeiger auf 4·25 deutete, so ist der Widerstand $\frac{4 \cdot 25}{6 \cdot 5 - 4 \cdot 25} = 1 \cdot 53$ Ohms und die zur Ablenkung von 6·5 gehörige Stromstärke $\frac{1 \cdot 26}{1 \cdot 53} = 0 \cdot 82$ Ampère und also die Stromstärke pro Grad der Ablenkung des Zeigers $\frac{0 \cdot 82}{6 \cdot 5} = 0 \cdot 125$ Ampère bei Hintereinander-Schaltung der Drahtwindungen durch den Pachytrop, und 1·25 Ampère bei Nebeneinander-Schaltung derselben.

Einige der Ayrton- und Perry'schen Commutator-Ammeter sind so construirt, dass bei Parallel-Schaltung der Windungen ein Grad der Scala 1 Ampère bedeutet, während andere 2 Ampères per Grad andeuten, und bei Manchen kommen sogar 5 Ampères auf einen Grad; mit diesen letztgenannten Apparaten kann man Ströme von einer Stromstärke von mehr als 200 Ampères messen.

Obgleich die grosse Empfindlichkeit des Commutator-Ammeters ursprünglich von den Erfindern nur zur Graduirung des Instrumentes benützt wurde, wird von derselben gegenwärtig Gebrauch gemacht, um die

geringen Stromstärken von 0·5 bis 2 Ampères, welche bei Messungen von incandescenten Lampen vorkommen, zu ermitteln, und leistet auch zu diesem Zwecke das Ammeter sehr gute Dienste.

2. Das Commutator-Voltmeter ist nur eine Modification des soeben beschriebenen Apparates, doch beträgt der Widerstand der Drahtwindungen 400 Ohms (jede der 10 Gruppen = 40 Ohms), wenn dieselben hintereinander, und 4 Ohms, wenn dieselben parallel geschaltet sind, während bei dem Ammeter der Widerstand bei der Hintereinander-Schaltung der Drahtwindungen nur 0·3 und bei der Parallel-Schaltung nur 0·005 beträgt. Einige der gegenwärtig construirten Voltmeter haben sogar per Gruppe einen Widerstand von 200 Ohms, also bei Koppelung der Drahtwindungen auf Quantität einen Widerstand von 20 und bei Koppelung auf Spannung einen Widerstand von 2000 Ohms.

Während das Ammeter graduirt wird, wenn die Windungen hintereinander geschaltet sind, und während des praktischen Gebrauches meistens mit Parallel-Schaltung der Windungen benützt wird, graduirt man das Voltmeter während der Parallel-Schaltung der Windungen und benützt es in der Praxis mit Hintereinander-Schaltung derselben. Bei einigen der Instrumente entspricht 1 Grad einem Volt, bei anderen 5 Volt, so dass die volle Ablenkung der Nadel um 45 Grad in den 5 Volt-Instrumenten einen Strom andeutet, welcher eine elektromotorische Kraft von 225 Volts hat.

Doch gerade so wie man im gewünschten Falle das Ammeter auch mit hintereinander geschalteten

Windungen anwenden kann, wenn es sich z. B. darum handelt, die verhältnissmässig geringen Stromstärken, welche in den incandescenten Lampen auftreten, zu messen, so kann man auch das Voltmeter in Ausnahmsfällen mit Parallel-Schaltung anwenden, wenn man z. B. elektromotorische Kräfte von nur 2 bis 3 Volts zu messen wünscht, wie solche z. B. von den Faure-schen Secundär-Batterien (Vgl. Capitel IV, Seite 125) geliefert werden.

Um das Voltmeter zu graduiren, werden, wie gesagt, die Drahtwindungen desselben durch den Pachytrop auf Quantität gekoppelt und gerade so, wie bei der Graduirung des Ammeters, der Strom eines Elementes durch dieselben geleitet, dessen elektromotorische Kraft $E$ man kennt. Dann liest man den Grad der Ablenkung von der Scala ab und zieht den auf der linken Seite der Figur sichtbaren Stöpsel heraus, wodurch bei diesem Instrumente ein Widerstand von 4 Ohms eingeschaltet wird; hierauf wird die zweite Ablesung notirt.

Die einem Grad entsprechende elektromotorische Kraft ist alsdann

$$\frac{10\,(G_1 - G_2)}{G_1\, G_2}\, E$$

bei Parallel-Schaltung und

$$\frac{G_1 - G_2}{G_1\, G_2}\, E$$

bei Hintereinander-Schaltung, d. h. bei der gewöhnlichen Schaltung der Windungen des Apparates.

Die Construction der Ammeter und Voltmeter ist eine solche, dass der künstliche Widerstand bei

dem Ammeter nur dann eingeschaltet werden kann, wenn die Windungen durch den Pachytrop hintereinander geschaltet sind, während bei dem Voltmeter diese Einschaltung nur dann möglich ist, wenn die Windungen parallel geschaltet sind. Hierdurch wird vermieden, dass, wenn zufällig der Stöpsel sich nicht in seiner Oeffnung befinden sollte, die Widerstandsspirale (bei dem Ammeter durch starke Ströme oder bei dem Voltmeter durch Ströme von hoher elektromotorischer Kraft) durch Schmelzen beschädigt werden kann. Um auch die Galvanometerspiralen des Instrumentes selbst gegen Schmelzung zu schützen und eine Beschädigung der Magnetnadel zu verhüten, wie solche leicht vorkommen kann, wenn die Instrumente für die Messung geringer Quantitäten, respective Spannungen eingestellt sind, und man starke Ströme, respective Ströme von grosser elektromotorischer Kraft durch die Windungen leitet, ist jedes Instrument — wie die Figur zeigt, welche sowohl ein Commutator-Ammeter, als ein Commutator-Voltmeter vorstellen kann, da beide genau dieselbe Form haben, — mit drei Klemmschrauben versehen, die mit den Buchstaben *B*, (*PS*) und *P* bezeichnet sind.

In allen Ammetern neuester Construction ist nun *P* nur zum Einklemmen dicker Drähte und *B* nur zum Einklemmen dünner Drähte geeignet, während (*PS*) allein für beide Drahtsorten passt; daher können also die Drähte einer elektrischen Maschine z. B. nur mit (*PS*) und *P* und unmöglich mit *B* verbunden werden, und da ein Strom nur zwischen (*PS*) und *B* circuliren kann, wenn die Windungen des Apparates parallel

geschaltet sind, so wird in dem Falle, dass durch Fortlassen des Stöpsels die Windungen zufällig hintereinander geschaltet sein sollten, der Strom nicht passiren können, sondern unterbrochen sein; eine Beschädigung des Instrumentes durch Schmelzung der Drähte oder zu starke Ablenkung der Nadel kann also nicht vorkommen.

Aehnliche Vorsichtsmassregeln werden bei der Construction der Voltmeter getroffen.

Die Windung der Spiralen aller Instrumente ist eine solche, dass die Nadel stets in der Richtung derjenigen Klemmschraube abgelenkt wird, welche mit dem positiven Poldrahte in Verbindung steht.

3. Ammeter und Voltmeter ohne Pachytrop.

In grossen Etablissements für elektrische Beleuchtung, z. B. wo viele Ammeter und Voltmeter stets im Gebrauche sein werden, ist es natürlich unnöthig, dass man für jedes Instrument eine eigene Graduirungsvorrichtung hat, und es wird genügen, nur einige Instrumente mit Pachytrop anzuschaffen, mit denen man dann die anderen vergleichen kann; es werden deshalb auch Ammeter und Voltmeter ohne Pachytrop construirt.

Alle diese Ayrton-Perry'schen Messinstrumente sind so construirt, dass die Magnetnadel und der Zeiger auf dem Zapfen einer Axe schwingen, die durch ihren Schwerpunkt geht, so dass die Ablenkung der Nadel und des Zeigers stets dieselbe bleiben wird, in welcher Stellung auch immer sich das Instrument befinden mag, und die Construction der Zapfen ist eine ähnliche wie bei

Taschenuhren, d. h. eine so feine, dass auch die Reibung durch eine Schiefstellung der Instrumente nicht stärker wird. Die permanenten Magnete der Apparate sind so stark, dass die Schwingungen der Nadel selbst nicht durch die grosse Nähe einer elektrischen Maschine beeinflusst werden.

Ein Nachtheil, der sich während des Gebrauches der bisher beschriebenen Instrumente fühlbar gemacht hat, ist jedoch der, dass der Magnetismus der permanenten Magnete durch die elektrischen Ströme natürlicherweise mit der Zeit etwas modificirt wird, und obgleich dieses von keiner Bedeutung sein würde, wenn man die Instrumente stets mit einem Daniell'schen Elemente graduirte, so sind doch oft an Orten, wo man die Ammeter und Voltmeter anwendet, Daniell'sche Elemente nicht vorhanden und der Umstand, dass eine Graduirung nothwendig ist, beeinträchtigt den praktischen Werth der Apparate.

Um die Schwächung des Magnetismus permanenter Magnete zu verhindern, gaben die Erfinder denselben eine Armatur bei, die man an die Magnetpole anlegte, wenn die Instrumente ausser Gebrauch waren; später jedoch sah man von der Verwendung der permanenten Magnete ganz ab und es entstanden so die

4. Ammeter und Voltmeter mit Federn. In diesen Instrumenten wird die Nadel nicht durch die Pole eines Magnets, sondern durch eine flache oder cylindrische Spiralfeder controlirt, und macht bei diesen Apparaten die weiche Eisennadel einen Winkel mit der Axe der Galvanometerspirale, der kleiner ist als 90 Grad, wenn das Instrument im Ruhezustande

ist (ein Winkel von 90 Grad würde den aperiodischen Charakter des Instrumentes stören). Die Erfinder haben durch eine grosse Anzahl von Experimenten und durch Berechnung den Winkel festgestellt, welchen die Nadel mit der Axe der Galvanometerspirale machen muss (wenn der Zeiger auf 0 zeigt), wenn man die besten Resultate erhalten will.

Bei guter Construction dieser neuen Apparate kann man Ablenkungen der Nadel bis zu 45 Grad erhalten, welche direct dem Strome proportional sind, und haben die so construirten Apparate den Vortheil vor den früheren, dass man erstens dieselben auch für entgegengesetzte Ströme benützen kann, und zweitens, dass man durch eine einfache Adjustirung der Feder, welche man durch Drehung eines kleinen auf einer Scala gleitenden Zeigers erzielt, den grossen Zeiger so einstellen kann, dass er in dem Ammeter die Nullstellung nicht eher, als bis der Strom eine gewisse Stärke, und in dem Voltmeter nicht eher, als bis der Strom eine gewisse elektromotorische Kraft erreicht hat, verliert.

Diese Methode, welche es erlaubt, die Feder zu adjustiren — den Grad der Adjustirung liest man an der Scala ab — vergrössert die Empfindlichkeit der Instrumente bedeutend. Nehmen wir z. B. an, dass man Ströme von circa 30 Ampères oder Ströme, deren Stärke sich zwischen 25—35 Ampères bewegt, mit einem speciellen Instrumente messen will; so stellt man die Nadel nicht so ein, dass sie schon durch schwache Ströme abgelenkt wird, sondern adjustirt die Feder derart, dass der Zeiger erst bei einem Strome von

25 Ampères den Nullpunkt verlässt. Würde man das Instrument so einstellen, dass die Ablenkung bei einem Strome gleich 1 Ampère beginnt, so würden sich die 45 Grad auf 35 Ampères vertheilen, im Falle man 35 Ampères als das Maximum der zu verwendenden Ströme annimmt, d. h. jeder Zuwachs der Stromstärke um 1 Ampère würde die Nadel um 1·3 Grad mehr ablenken, während, wenn man die Ablenkung der Zeiger erst bei 25 Grad beginnen lässt, die 45 Grad sich auf 10 Ampères vertheilen, d. h. auf je ein Ampère kommen alsdann 4·5 Grad; die Empfindlichkeit der Instrumente ist also beinahe viermal so gross als in dem ersten Falle.

Instrumente, welche eine noch grössere Accuratesse der Messungen gestatten, sind die:

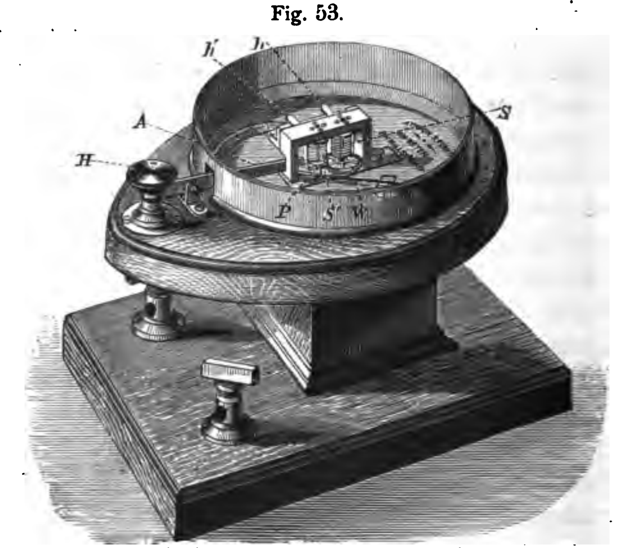
5. Ammeter und Voltmeter mit Zahnrad und Getriebe.

In diesen Instrumenten ist auf der Axe der Magnetnadel ein sehr fein gezahntes Rad *W* (Fig. 53) angebracht, dessen Zähne in ein Getriebe *P* eingreifen, welches sich an der Axe des Zeigers des Instrumentes befindet. Durch diese Einrichtung erzielt man, dass die Ablenkung des Zeigers zehnmal so gross ist, als die der Magnetnadel, und wenn das Instrument so construirt ist, dass die Ablenkung der Nadel bis auf 36 Grad dem Strome proportional ist, so werden 360 Grad der Ablenkung des Zeigers diese Proportionalität haben. Ausserdem ist sowohl die Axe der Nadel, als auch des Zeigers mit einer sehr empfindlichen Spirale *S*, respective *S'* versehen. Diese Spiralen können entweder gleichzeitig zur Adjustirung benützt werden, oder

man kann auch nur eine derselben wirken lassen, da *S'* aus dem Getriebe vermittelst eines Hebels *A* ausgelöst werden kann, wenn man die Schraube *H* dreht.

Wenn beide Spiralen gleich stark sind, kann man durch Drehung dieser Schraube und Auslösen von *S'* die Empfindlichkeit des Instrumentes genau verhundertfachen und man kann diese Empfindlichkeit auf irgend

Fig. 53.




einen anderen höheren oder niederen Grad adjustiren, wenn man die Stärke der beiden Spiralen in ein bestimmtes Verhältniss bringt.

An beiden Spiralen sind kleine Zeiger angebracht, welche eine solche Einstellung des Instrumentes erlauben, dass man die 360 Grad der Ablenkung des Hauptzeigers auf eine verhältnissmässig geringe Anzahl

von Einheiten der Stromstärke, respective elektromotorischen Kraft vertheilen kann, wie es z. B. wünschenswerth ist, wenn man kleine Aenderungen eines ziemlich gleichmässigen Stromes zu messen wünscht, und werden durch diese Construction der Ammeter und Voltmeter Instrumente geschaffen, die, trotzdem dass sie für die Messungen von starken Strömen und von Strömen von hoher elektromotorischer Kraft bestimmt sind, dennoch genau so empfindlich reagiren, wie die feinen Instrumente, die man für Messungen von schwachen Strömen und von Strömen von geringer elektromotorischer Kraft bisher construirte.

Ayrton und Perry verfertigen gegenwärtig auf diese Weise construirte Ammeter, welche man für Ströme bis zur Stärke von 1200 Ampères verwenden kann.

Ein anderes Instrument, welches von denselben Herren zu Messungen an elektrischen Maschinen bestimmt ist, ist der sogenannte

Lichtbogen-Pferdekraft-Messer (Arc-horse-power measurer), dessen Scala für das Ablesen von Pferdekräften, d. h. von $\frac{e^{\text{Volts}}\, i^{\text{Amp.}}}{736}$ eingetheilt ist, und demnach die Stärke und elektromotorische Kraft des Stromes gleichzeitig misst; doch sehen wir von einer Beschreibung dieses allerdings für manche Zwecke recht praktischen Instrumentes sowie des Ohmmeters*) zum Messen des Widerstandes in Ohms ab, da die oben beschriebenen Apparate für alle gewöhnlich in der Praxis

*) Meistens misst man die Widerstände mit der Wheatstone-Brücke.

vorkommenden Messungen vollkommen genügen, und lassen anstatt weiteren Eingehens auf die Construction der Messinstrumente diesem Abschnitte noch einige physikalische Gleichungen folgen, durch welche die Hauptwerthe der gewöhnlich vorzunehmenden Messungen sich finden lassen.

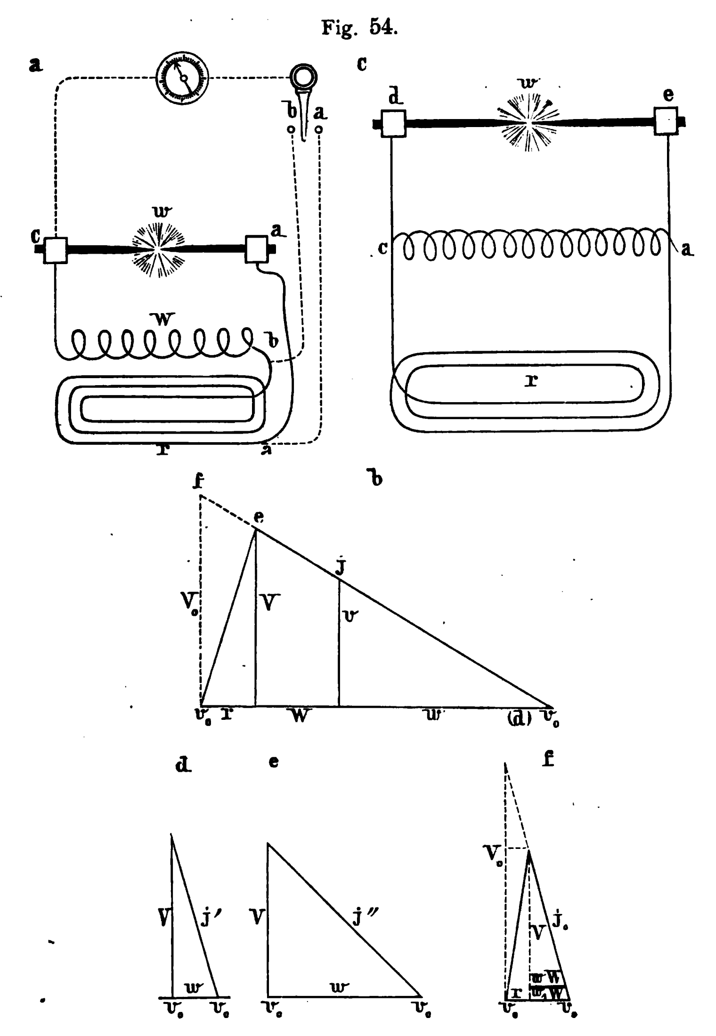
## Formeln zu Messungen an elektrischen Maschinen.

Um die in den verschiedenen Theilen einer elektrischen Maschine, so wie im äusseren Stromkreise auftretende Arbeit zu berechnen, kann man sich zweckmässig der von Dr. A. Tobler in Zürich aufgestellten Gleichungen bedienen. (Vgl. Z. f. a. E. Bd. IV. Nr. 14.)

Es sei $r$ der Widerstand der Armatur, $W$ derjenige des Elektromagnets und $w$ der Widerstand der äusseren Leitung, in welche z. B. eine Anzahl von elektrischen Lampen eingeschaltet sei, deren Widerstand unbekannt ist. Der Widerstand derselben wird meistens so gross sein, dass man den Widerstand der Leitungsdrähte vernachlässigen kann. In Figur 54 *b* sind die Widerstände als Abscissen und die Spannungen als Ordinaten aufgetragen; die Gerade *f a* repräsentirt demnach die Stromstärke $I$, *a* und *b* bezeichnen die Pole der Armaturspirale, *a* und *c* diejenigen der Maschine und *a* und (*d*) entsprechen demselben Maschinenpol.

Bei den Ausdrücken für die verschiedenen Spannungsdifferenzen ist $v_0$ gleich 0 angenommen und bezeichnet z. B. $V - v_0$ die Spannungsdifferenz zwischen den Armaturpolen, während $v_0 - v_0$ diejenige zwischen

Fig. 54.




**Anmerkung:** Die Hypotenuse des Dreiecks in Fig. 54 *d*, ist in den Formeln mit $J'$ und die Hypotenuse des Dreiecks in Fig. 54 *e* mit $J''$ bezeichnet.

den Maschinenpolen bezeichnet und $V_0$ die gesammte elektromotorische Kraft repräsentirt.

Aus Figur 54 *b* lassen sich alsdann die folgenden geometrischen Proportionen ableiten.

$$\frac{V_0 - v_0}{r + W + w} = \frac{V - v_0}{W + w} = \frac{v - v_0}{w} = I \quad (1)$$

$$\frac{V_0 - v_0}{V - v_0} = \frac{r + W + w}{W + w}; \quad \frac{V_0 - v_0}{v - v_0} = \frac{r + W + w}{w}$$

$$V_0 - v_0 = \frac{r + W + w}{W + w}(V - v_0) = \frac{r + W + w}{w}(v - v_0) \quad (2)$$

$$\frac{V_0 - V}{r} = \frac{V - v}{W} = I \quad (3)$$

$$\frac{V - v}{v - v_0} = \frac{W}{w}; \quad w = \frac{W(v - v_0)}{V - v} \quad (4)$$

Die in dem genannten Stromkreise geleistete Arbeit $E$ in $H\,P$ ausgedrückt, ergiebt sich aus der Gleichung

$$E = \frac{I^2(r + W + w)}{9{\cdot}81 \,.\, 75} = \frac{V_0\, I}{9{\cdot}81 \,.\, 75}$$

und da nach Gleichung 1: $v - v_0 = Iw$ ist, so erhält man

$$E = \frac{[I(r + W) + (v - v_0)]I}{9{\cdot}81 \,.\, 75}.$$

Der von den Drähten absorbirte Effect $e_1$, und der in dem äusseren Stromkreise auftretende Effect $e_2$ ist mit Hilfe der Gleichungen

$$e_1 = I^2(r + W)$$
$$e_2 = I^2 w$$

alsdann leicht zu finden.

Die obigen Formeln sind jedoch nur brauchbar, wenn der Elektromagnet der Maschine, an welcher die

Messungen vorgenommen werden, in dem Hauptstromkreis eingeschlossen ist; andere Formeln erhält man für Maschinen, in denen der Magnet in einem Nebenschlusse liegt, wie solche in der letzten Zeit häufig aus den in Capitel IV angegebenen Gründen construirt werden.

Zur Ermittelung der Formeln für solche Maschinen mögen die Diagramme Figur 54 *d*, *e*, *f* dienen. $r$ bezeichnet auch hier den Widerstand der Armatur, $W$ denjenigen des Elektromagnets, $w$ den Widerstand des äusseren Stromkreises und $V—v_0$ die Spannungsdifferenz der Armaturpole.

Aus den Diagrammen ergiebt sich alsdann

$$\frac{V-v_0}{W} = I'; \frac{V-v_0}{w} = I''$$

$$I' + I'' = I_0; \frac{V_0-V}{r} = I_0; V_0 = I_0 r + V$$

Der reducirte Widerstand der Elektromagnetwindungen und des äusseren Stromkreises ist nämlich $\frac{w W}{w+W}$.

Wenn man nun diesen Werth auf der Abscissenaxe aufträgt, so erhält man leicht $I_0$ und $V_0$.(Figur 50 *c*).

Die Arbeitsleistung des Stromes in $H P$ ausgedrückt, vertheilt sich dann wie folgt:

Gesammteffect

$$E = \frac{(V_0 - v_0) I_0}{9{\cdot}81 . 75} = \frac{I_0^2 \left(r + \frac{w W}{W+w}\right)}{9{\cdot}81 . 75} H P$$

Effect in den Armaturspiralen

$$e = \frac{I_0^2 r}{9{\cdot}81 . 75} H P$$

Effect in den Elektromagnetspiralen

$$e_1 = \frac{I'^2 W}{9{\cdot}81 . 75} = \frac{I'(V - v)}{9{\cdot}81 . 75} \; HP$$

Effect im äusseren Stromkreise

$$e_2 = \frac{I''^2 w}{9{\cdot}81 . 75} = \frac{I''(V - v)}{9{\cdot}81 . 75} \; HP$$

Mit Hilfe dieser Formeln und der in Capitel V wiedergegebenen Fröhlich'schen Gleichungen wird man fast alle in der Praxis vorkommenden Messungen an magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen leicht ausführen können.

---

# XI.

## Neuere Maschinen-Constructionen.

Die neue elektrodynamische Maschine von Jablochkoff, »L'écliptique«, bedeutet in der Richtung einen Fortschritt im Baue von elektrischen Maschinen, dass bei der Construction derselben die Masse jener magnetischen Theile, welche einem Polwechsel ausgesetzt sind, vermindert erscheint.

Die Maschine besteht, wie die Abbildung zeigt, im Wesentlichen aus zwei Spulen, von welchen die eine unbeweglich in einer verticalen Ebene, die andere beweglich auf einer horizontalen Axe, und zu dieser unter einem gewissen Winkel geneigt, angeordnet ist.

Die verticale, unbewegliche Spule steht nicht gleichzeitig mit ihrer Ebene senkrecht auf der horizontalen Rotationsaxe der beweglichen Spule, sondern schliesst mit ihreinen durch Versuche bestimmten Winkel ein, der überdies auch von den Bedingungen, unter welchen die Maschine functioniren soll, abhängt.

Die feststehende Spule ist auf einen Kupferrahmen gewickelt, die bewegliche auf eine Eisenform, welch' letztere unter dem Einflusse des in der Spule circulirenden Stromes sich in einen kurzen Elektromagnet verwandelt, dessen Pole durch zwei kreisförmige Scheiben gebildet sind. Die Rotationsaxe trägt einen Commutator, auf welchem die Drahtbürsten schleifen. Dieser Commutator ist derart angeordnet, dass die bewegliche

Spule während der Rotation der Axe von einem Strome durchlaufen wird, welcher niemals seine Richtung ändert, und daher im Magnete stets dieselbe Polarität erhält; in der feststehenden Spule ohne weiches Eisen wird jedoch bei jeder halben Umdrehung die Stromrichtung umgekehrt.

L'écliptique.



Die Maschine kann eben sowohl als Stromerzeuger, als auch als Elektromotor Verwendung finden. Als Motor fungirt sie durch die gegenseitigen Anziehungen und Abstossungen eines beweglichen Elektromagnetes und eines feststehenden Solenoides, welches von in ihrer Richtung wechselnden Strömen durchlaufen wird.

Jablochkoff hat übrigens zur Ausführung seiner neuen Maschine verschiedene Modificationen vorge-

schlagen. Er lässt z. B. zwischen den Polen zweier Elektromagnete eine auf weiches Eisen gewickelte Drahtspirale rotiren, deren Ebene mit der Rotationsaxe einen bestimmten Winkel einschliesst. Die Anordnung ist hierbei eine derartige, dass abwechselnd einmal die eine und dann die andere Flansche der rotirenden Spule den feststehenden Elektromagnetpolen gegenüber zu stehen kommt. Es werden hierbei infolge des Polwechsels in der Spule Wechselströme erzeugt.

Bei einer anderen Construction ist die rotirende Spule gleichfalls geneigt gegen die Rotationsaxe auf diese aufgesetzt; sie rotirt innerhalb einer gleichfalls schief gestellten Spule, welche von einem eisernen Ringe umgeben ist. Im letzteren werden durch die Flanschen der rotirenden Spule die Magnetpole im Ringe inducirt. Ein auf der Axe aufgesetzter Commutator giebt den inducirten Strömen die gleiche Richtung.

Diese Maschinen zeichnen sich durch Einfachheit ihrer Construction aus und werden hierin wohl kaum von einer anderen Maschine übertroffen. Jablochkoff beansprucht in seinem Patente die Erfindung einer dynamoelektrischen oder elektrodynamischen Maschine, bei welcher sich eine schräg auf der Axe aufgesetzte Elektromagnetspule im magnetischen Felde bewegt, und zwar so, dass sich bei jeder Umdrehung abwechselnd entgegengesetzte Pole gegenüber liegen.

Ueber die Leistungsfähigkeit lassen sich vorläufig noch keine näheren Angaben machen, jedoch ist Breguet in Paris gegenwärtig mit der Prüfung dieser Maschinen beschäftigt, wodurch voraussichtlich in kurzer

Zeit hinreichendes Material zu deren Beurtheilung gewonnen werden dürfte.

In Gordon's Wechselstrommaschine begegnen wir der zweiten elektrischen Kolossalmaschine. Eine grosse Anzahl jener Etektrotechniker, welche die Anlage grosser Centralstationen, von welchen aus Elektricität zur Beleuchtung sowohl, als auch zur Kraftübertragung ganzen Stadtvierteln zugeführt werden soll, ins Auge fassen, glauben diesen Zweck am besten durch Aufstellung von Generatoren riesiger Dimensionen erreichen zu können. Die erste Maschine, welche dazu geeignet erscheint, wurde von Edison gebaut. Sie bedarf zu ihrem Betriebe eines Kraftaufwandes von 120 Pferdekräften und kann dann etwa 1000 Glühlichtlampen (à 8 N. K.), System Edison, speisen.

Gegenwärtig ist Edison bereits durch die von Gordon unter Mithilfe von Cliffort und Lucas construirte Wechselstrommaschine übertroffen.

Dem äusseren Aussehen nach gleicht die Maschine von Gordon dem ersten von Jacoby construirten Elektromotor. Bei diesem wie bei jener dreht sich in einer verticalen Ebene eine mit Elektromagneten versehene Scheibe, zwischen zwei feststehenden, welche eine doppelte Anzahl im Kreise angeordneter Elektromagnete tragen. Das Verhältniss der inducirten und inducirenden Theile ist in beiden Fällen dasselbe,

$$\frac{6}{12} = \frac{64}{128}.$$

Die ganze Maschine, wie sie in der Figur auf Seite 264 abgebildet ist, hat, das Fundament mitgerechnet, eine Grösse von beiläufig 4 Meter. Ihre wesent-

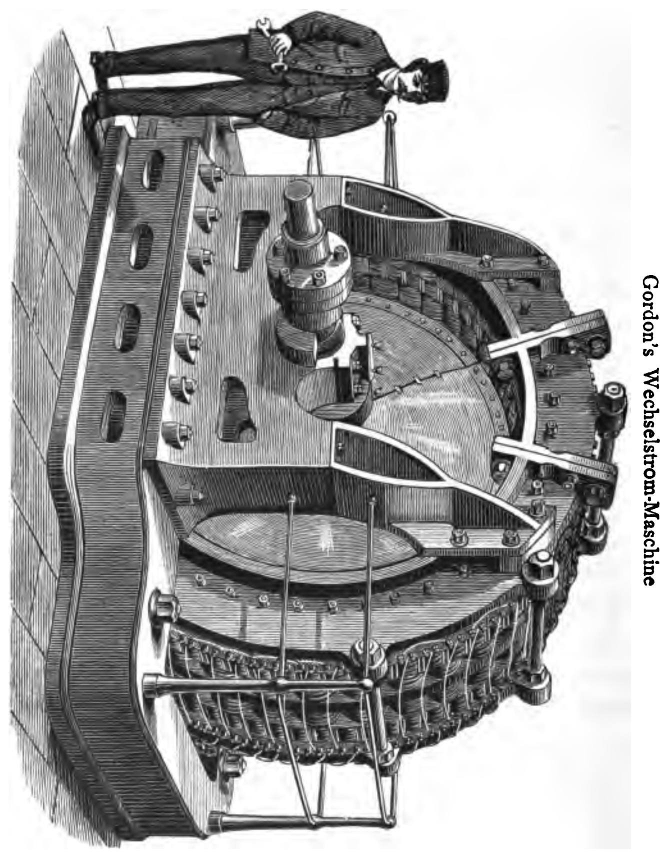
lichen Organe, der Inductor und der Anker, besitzen eine Kreisfläche von 2·3 Meter Durchmesser und wiegen 18.000 Kgr. (eine Tonne mehr als die Maschine von Edison).

Der Anker setzt sich aus zwei eisernen, mit Felgen versehenen Ringen zusammen, welche in einer bestimmten Entfernung von einander angebracht sind; eiserne, mit Schrauben befestigte Traversen erhalten beide Ringe in ihrer Lage gegen einander. Jede der beiden Armaturen trägt 64 Spulen, deren Kerne aus Lamellen von Eisenblech, eben so gerollt wie die Spulen und durch Schrauben am Eisenringe befestigt, bestehen.

Der Durchmesser der Ankerdrähte beträgt $^4/_5$ Mm., was bei Schaltung sämmtlicher Spulen auf Quantität einem Leiter von 22 Qu.-Cm. Querschnitt entspricht; die Erwärmung und ihre Folgen sind deshalb auch für eine bedeutende Stromintensität nicht zu befürchten.

Bei einer Maschine von solcher Grösse muss die Anwendung eines Commutators und der Bürsten zur Sammlung der inducirten Ströme vermieden werden, da die an den Berührungsstellen beider auftretenden Funken einen grossen Uebelstand bilden würden. Dies ist auch der Grund, welcher Gordon bestimmt hat, die Spulen der Armatur, nicht, wie dies gewöhnlich geschieht, rotiren zu lassen, sondern sie zu beiden Seiten der inducirenden Spulen festzusetzen. Die inducirenden Spulen oder Magnete sind bei dieser Maschine der rotirende Theil. Es bewegt sich also das inducirende Feld parallel zu den Flächen der inducirten Spulen.

Der Inductor (also die Scheibe mit den inducirenden Magneten) besteht aus zwei Eisenscheiben, welche



Gordon's Wechselstrom-Maschine

durch entsprechende Gussstücke mit einander verbunden sind und in ihrem Centrum auf einer Welle aufsitzen, vermöge welcher ihnen die rotirende Bewegung ertheilt

wird. Am Umfange der Scheiben sind 32 Elektromagnete angebracht, deren cylindrische Eisenkerne die Scheiben durchsetzen und auf beiden Seiten gleiche Oberflächen zeigen. Diese liegen mit den freien Oberflächen der Spulen in einer Ebene und sind mit verbreiterten Polschuhen aus weichem Eisen versehen. Der zur Erregung der Magnete erforderliche Strom wird von einer oder zwei Bürgin-Maschinen geliefert und mit Hilfe zweier Bürsten, welche auf 2 isolirt an der Welle befestigten Bronzeringen schleifen, eingeführt.

Die Anwendung von nur halb so vielen inducirenden Spulen, als Spulen in welchen inducirt werden soll, ist eine Verbesserung, auf welche Gordon durch einen Versuch kam. Bei Anwendung gleicher Spulenzahlen fand er nämlich, dass die inducirende Wirkung der einen Spule durch die sehr nahe stehenden Nachbarspulen erheblich beeinflusst wird, so zwar, dass die Intensität der in den Stromkreis geschalteten Lampen um 20—30% vermindert erscheint. Ist jedoch nur die halbe Anzahl der inducirenden Spulen auf demselben Kreisumfange vertheilt, so stehen die einzelnen Spulen in grösserer Entfernung von einander und die gegenseitige Störung in ihrer Wirkung ist nahezu ganz vermieden.

Lässt man die Inductorscheibe 140 Touren per Minute machen und sendet durch deren Spulen einen Strom von 19 Ampères und 88 Volts, so erhält man in jeder der inducirten Spulen einen Strom von 27·5 Ampères; bei 200 Touren und Schaltung der Spulen auf Quantität resultirt ein Gesammtstrom von 5000 Ampères.

Zu Beginn des Jahres 1883 waren die grossen Werkstätten der Maintenance Co. in Greenwich durch diese einzige Maschine beleuchtet, wobei man ihre 128 Spulen in 4 Serien à 32, geschaltet hatte; 1300 Swan-Lampen zu 20 N.-K., vertheilt in einem Kreise von 21 Km. Länge, waren in Thätigkeit, trotzdem man nur die Hälfte des Stromes benützte, welchen die Maschine zu liefern im Stande ist.*)

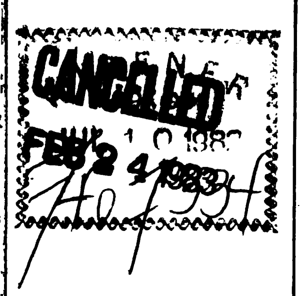
Hiernach scheint es, dass die elektrische Beleuchtung von Städten, ausgedehnten Werkstätten etc., durch grosse Centralanstalten nicht nur ausführbar ist, sondern auch in Bezug auf ihr ökonomisches Verhalten zufriedenstellende Resultate giebt.

---

* L'électricité, Vol. VI., p. 68.

# Index.




CANCELLED
FEB 2 4 1983